

Entfernungsmessung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entfernungsmessung, bei dem mit wenigstens einem Sender gepulste elektromagnetische Strahlung ausgesandt wird und reflektierte Signalpulse mit wenigstens einem Empfänger nachgewiesen werden, wobei die Entfernungen von Objekten, an denen die ausgesandten Strahlungspulse reflektiert werden, durch Bestimmen
10 der Pulslaufzeit gemessen werden.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Entfernungsmessung durch Bestimmen der Pulslaufzeit, mit wenigstens einem Sender zur Aussendung gepulster elektromagnetischer Strahlung und mit wenigstens
15 einem Empfänger zum Nachweis von reflektierten Signalpulsen.

Derartige Verfahren und Vorrichtungen zur Entfernungsmessung sind grundsätzlich bekannt.

20 Bei der Entfernungsmessung möchte man zum einen möglichst genaue Entfernungswerte erhalten. Zum anderen wird eine möglichst hohe Empfindlichkeit der Messanordnung angestrebt, um auch Signale mit einer vergleichsweise kleinen Amplitude nachweisen zu können, die beispielsweise von weit entfernten Objekten oder von Objekten mit einer niedrigen
25 Reflektivität stammen.

Bekannte Methoden zur Entfernungsmessung durch Bestimmen der Pulslaufzeit lassen sich hinsichtlich des ihnen zugrunde liegenden prinzipiell-

len Ansatzes voneinander unterscheiden, wobei im Wesentlichen zwei verschiedene Ansätze für die Zeitmessung Verwendung finden.

Ein Ansatz wird als "kontinuierliche Messung" bezeichnet. Bei der kontinuierlichen Messung wird das gesamte analoge Empfangssignal abgetastet, d.h. mit einer der verwendeten Abtastrate entsprechenden Genauigkeit wird das Empfangssignal "kontinuierlich" vermessen. Dabei ist es üblich, mehrere Messungen durchzuführen und mit einer hohen festen Abtastrate für jede Messstelle, d.h. an jeder Abtaststelle im Empfangssignal, einen Mittelwert über die durchgeführten Messungen zu bilden, um auf diese Weise das auch als S/N bezeichnete Signal/Rausch-Verhältnis zu verbessern. Aus der sich hieraus ergebenden quasi-kontinuierlichen Amplitude lassen sich die eigentlich interessierenden Signalepulse rekonstruieren, d.h. vom Rauschen trennen, um so die für die Entfernungsmessung erforderliche Zeitmessung anhand der rekonstruierten Signalepulse durchführen zu können.

Von Vorteil bei der kontinuierlichen Messung sind die damit erzielbare hohe Genauigkeit sowie die hohe Empfindlichkeit. Nachteilig sind die erheblichen technischen Probleme hinsichtlich des erforderlichen Abtast-, Speicher- und Rechenaufwandes, die gelöst werden müssen. Der Grund für diese Probleme ist die enorm große Datenmenge, die beim Abtasten des gesamten Empfangssignals und der anschließenden Auswertung bewältigt werden muss.

Ein alternativer Ansatz bei der Zeitmessung ist die so genannte "Event-Messung", bei der nicht das gesamte analoge Empfangssignal ausgewertet, sondern das Empfangssignal über einen Komparator geführt wird, der

dafür sorgt, dass lediglich eine eingestellte Komparatorschwelle übersteigende Signalanteile bzw. Zeitpunkte detektiert und ausgewertet werden. Im Gegensatz zur kontinuierlichen Messung wird bei der Event-Messung folglich eine Datenflut von vornherein dadurch vermieden, dass Messwerte
5 nur für die eigentlich interessierenden Ereignisse ("Events"), insbesondere für die über der Komparatorreferenz liegenden Signalepulse aufgenommen werden.

Ein Vorteil der Event-Messung besteht darin, dass sich durch Mittelung
10 einer Mehrzahl von Messungen eine hohe Genauigkeit erzielen lässt und dabei nur eine sehr kleine Datenmenge bewältigt werden muss. Nachteilig ist, dass die Event-Messung naturgemäß keine Verbesserung der Empfindlichkeit ermöglicht, da die Empfindlichkeit durch die Lage der Komparatorschwelle festgelegt ist, die einen bestimmten Abstand der interessierenden
15 Signalepulse vom Rauschen voraussetzt und entsprechend diesem Signal/Rausch-Abstand eingestellt werden muss. Ein weiterer Nachteil der Event-Messung besteht darin, dass ohne aufwändige Erweiterung der Auswerteelektronik lediglich ein einziger, auch als Echo bezeichneter Signalepuls pro ausgesandtem Strahlungspuls ausgewertet werden kann,
20 da der ausgesandte Strahlungspuls die Zeitmessung startet und das Echo, d.h. der am Empfänger nachgewiesene Signalepuls, die Zeitmessung stoppt.

Es ist momentan auf dem Gebiet der Entfernungsmessung durch Puls-
25 laufzeitbestimmung keine Messmethode bekannt, die auf der Basis einer vertretbaren Datenmenge gleichzeitig eine hohe Genauigkeit liefert und eine hohe Empfindlichkeit bietet.

Aufgabe der Erfindung ist es, bei der Entfernungsmessung durch Bestimmen der Pulslaufzeit die Möglichkeit zu schaffen, eine hohe Genauigkeit der Entfernungsmessung bei gleichzeitig hoher Empfindlichkeit zu realisieren, wobei insbesondere die Auswertung mehrerer Signalpulse pro ausgesandtem Strahlungspuls möglich, d.h. eine Mehrecho-Fähigkeit gegeben, und es außerdem möglich sein soll, die Form der Signalpulse analysieren, also beliebig geformte Reflexionssignale verarbeiten zu können.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch die Merkmale des unabhängigen Verfahrensanspruchs 1 sowie durch die Merkmale des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs 24.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist demnach vorgesehen, dass mit dem Empfänger das Rauschen gemessen wird, wobei Zeitpunkte bestimmt werden, an denen wenigstens eine im Rauschen liegende Schwelle des Empfängers durchbrochen wird, und wobei durch Mittelung einer Mehrzahl von jeweils die bestimmten Zeitpunkte umfassenden Einzelmessungen von den Signalpulsen hervorgerufene Veränderungen des Rauschens nachgewiesen werden.

20

Anders als bei der eingangs erläuterten Event-Messung wird erfindungsgemäß folglich gezielt das Rauschen und nicht lediglich ein weit über das Rauschen hinaus ragendes Signal gemessen. Anders als bei der ebenfalls eingangs erläuterten kontinuierlichen Messung wird erfindungsgemäß jedoch nicht das gesamte analoge Empfangssignal des Empfängers kontinuierlich abgetastet, sondern es werden mit den Zeitpunkten, an denen die im Rauschen liegende Schwelle des Empfängers durchstoßen wird, gezielt bestimmte charakteristische Stellen ("Events") des Empfangssignals

ausgewählt. Nur diese ausgewählten Stellen des Empfangssignals werden einer weiteren Auswertung unterzogen.

Diese weitere Auswertung umfasst erfindungsgemäß eine Mittelung mehrerer Einzelmessungen, wobei jedoch bei der Erfindung diese Einzelmessungen - anders als bei der kontinuierlichen Messung - nicht eine enorm große, durch die Abtastrate bestimmte Anzahl von Messpunkten des analogen Empfangssignals, sondern eben nur die charakteristischen Zeitpunkte enthalten. Die der Mittelung unterzogenen Einzelmessungen repräsentieren also jeweils nicht das gesamte Empfangssignal, sondern bilden mit den bestimmten Zeitpunkten nur einen zwar kleinen, dafür aber charakteristischen und eindeutig definierten Teil des analogen Empfangssignals ab.

Hierdurch wird mit der Erfindung eine drastische Reduzierung der Datenmenge erzielt, ohne jedoch - wie bei der Event-Messung - auf im analogen Empfangssignal vorhandene Informationen zu verzichten. Da erfindungsgemäß die Schwelle des Empfängers im Rauschen liegt, wird das gesamte Empfangssignal bei der Auswertung berücksichtigt und nicht lediglich ein ausreichend weit über das Rauschen hinaus ragendes Signal.

Durch die erfindungsgemäße Beschränkung auf die charakteristischen Zeitpunkte im Empfangssignal des Empfängers bleibt lediglich die Amplitude der Rauschpulse unberücksichtigt. Dies stellt jedoch deshalb kein Problem dar, da in denjenigen Zeitbereichen, in denen ausschließlich Rauschen, aber kein Signal vorliegt, bei der erfindungsgemäßen Mittelung die Rauschpulse gewissermaßen "weggemittelt" werden. In diesen Zeitbereichen wird also der Umstand ausgenutzt, dass die Rauschpulse statis-

tisch verteilt sind, d.h. positive und negative Rauschpulse ein festes, von der Lage der Schwelle des Empfängers abhängiges Wahrscheinlichkeitsverhältnis aufweisen, z.B. im Fall einer bei 0 NEP liegenden Empfängerschwelle gleich wahrscheinlich sind. Dabei bezeichnet "NEP" ("noise equivalent power") diejenige Leistung, die dem Effektivwert des Rauschens entspricht.

In denjenigen Zeitbereichen dagegen, in denen ein Signal vorhanden ist, wird erfindungsgemäß der Umstand ausgenutzt, dass das Rauschen durch das Signal beeinflusst wird, d.h. die Rauschpulse durch die Überlagerung mit dem Signal verändert werden. Dieser Umstand bedeutet, dass im Bereich eines Signals die Rauschkurve aufgrund des Signals ins Positive verschoben wird, was zu einer Verbreiterung der Rauschpulse führt und damit die Wahrscheinlichkeit dafür erhöht, dass die Schwelle des Empfängers überschritten, also das Vorhandensein eines positiven Signalanteils nachgewiesen werden kann.

Diese Wahrscheinlichkeitserhöhung oder Asymmetrie macht sich bei der erfindungsgemäßen Mittelung dahingehend bemerkbar, dass in den Bereichen reinen Rauschens die Rauschpulse auf einen mittleren Wert gebracht werden, wohingegen in den Bereichen, in denen ein Signal vorhanden ist, die von diesem Signal hervorgerufene Wahrscheinlichkeitserhöhung als ein höherer Wert gemessen werden kann, also als ein Wert, der über dem mittleren Wert des Rauschens liegt. Bei der erfindungsgemäßen Mittelung verringert sich also das Rauschen, während das Signal in seiner Höhe unverändert bleibt.

Dieser durch die Erfindung ausgenutzte Umstand ist unabhängig von der

insbesondere durch die Beschaffenheit des die ausgesandten Strahlungspulse reflektierenden Objektes bestimmte Form des Signals. Sowohl einzelne Signalpulse mit gegenüber der Messzeit kurzer Dauer einerseits also auch kontinuierliche Signale mit über ihre Dauer beliebig verlaufender, von Null verschiedener Amplitude andererseits verschieben die Rauschkurve ins Positive und sind somit mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens nachweisbar. Während dies bei einem kurzen Signalpuls lediglich "lokal" erfolgt, verschiebt ein breiteres Signal die Rauschkurve in dem betreffenden Zeitbereich als Ganzes. Im Sinne der Erfindung ist auch ein solches breites Signal als "Signalpuls" und eine solche Verschiebung der Rauschkurve als Ganzes als "Veränderung des Rauschens" zu verstehen.

Von besonderem Vorteil bei der Erfindung ist, dass das vorstehend Erläuterte außerdem für Signale beliebiger Größe und insbesondere auch für solche Signale gilt, die im Rauschen liegen, d.h. deren Amplitude kleiner und insbesondere wesentlich kleiner als die durchschnittliche Amplitude der Rauschpulse ist. Derart kleine Signale können mit der eingangs erläuterten Event-Messung nicht nachgewiesen werden. Auch große Signale überlagern zwar das Rauschen. Dieser Umstand spielt bei der Event-Messung aber praktisch keine Rolle, da hier ohnehin nur solche Signale detektiert werden, die deutlich über dem Rauschen liegen, d.h. hier nicht das Rauschen gemessen wird.

Ein weiterer großer Vorteil der Erfindung ist, dass quasi automatisch eine Mehrecho-Fähigkeit gegeben ist, da das gesamte analoge Empfangssignal berücksichtigt wird.

Da erfindungsgemäß die Mittelung der Einzelmessungen lediglich auf der

Grundlage der vergleichsweise wenigen charakteristischen Zeitpunkte durchgeführt wird, ermöglicht die Erfindung eine drastische Empfindlichkeitssteigerung, ohne dass gleichzeitig ein entsprechend großer Mess- und Auswerteaufwand erforderlich ist. Von einer praktisch realisierbaren Konfiguration einer Entfernungsmessvorrichtung ausgehende Untersuchungen haben ergeben, dass bei einer mitten im Rauschen liegenden Empfängerschwelle etwa 60 Rauschpulse pro 100 m Reichweite zu erwarten sind.

Die erfindungsgemäße Empfindlichkeitssteigerung eröffnet eine Fülle von neuen, bislang nicht möglichen Sensorkonstruktionen und Anwendungen zur Entfernungsmessung, auf die an anderer Stelle näher eingegangen werden soll.

Dieser Vorstoß in bislang unerreichte Bereiche wird - anschaulich ausgedrückt - also dadurch erreicht, dass sich die Vorteile einer vollen Informationsausnutzung durch Berücksichtigung des gesamten analogen Empfangssignals - insofern wie bei der kontinuierlichen Messung - und die Vorteile einer Datenreduktion durch Beschränken auf charakteristische Ereignisse - insofern wie bei der Event-Messung - zu Eigen macht. Dies erfolgt erfindungsgemäß dadurch, dass das analoge Empfangssignal einerseits zwar kontinuierlich, andererseits aber nur bezüglich der durch die bestimmten Zeitpunkte repräsentierten Ereignisse ausgewertet wird.

Aus diesem Grund wird die Erfindung auch als "kontinuierliche Event-Messung", abgekürzt KEM, bezeichnet.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung sowie der Zeichnung angegeben.

Erfindungsgemäß kann für jeden ausgesandten Strahlungspuls eine Einzelmessung erzeugt werden. Durch die erfindungsgemäße Beschränkung auf die charakteristischen Zeitpunkte steht auch bei hohen Pulsfrequenzen jeweils zwischen der Aussendung zweier aufeinander folgender Strahlungspulse genügend Zeit zur Verfügung, um die aus dem früheren Strahlungspuls resultierende Einzelmessung verarbeiten zu können.

10

Die Lage der Schwelle des Empfängers kann an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Je weiter die Schwelle des Empfängers in das Rauschen hinein gelegt wird, d.h. je niedriger die Schwelle eingestellt wird, desto kleiner sind die Signale, die noch nachgewiesen werden können.

15

Gleichzeitig steigt aber der Mittelungsaufwand, der betrieben werden muss, um die kleinen Signale vom Rauschen zu trennen, da die Schwelle des Empfängers von den Flanken der Rauschpulse umso häufiger durchbrochen wird, d.h. die Einzelmessungen eine umso größere Anzahl von Zeitpunkten umfassen, je niedriger die Schwelle des Empfängers eingestellt ist.

20

Der Gewinn an Empfindlichkeit erfolgt also um den Preis eines höheren Mittelungsaufwands, wobei aber erfindungsgemäß dieser Mittelungsaufwand immer noch Größenordnungen unter demjenigen der eingangs erläuterten kontinuierlichen Messung liegt, da selbst im Fall einer bei 0 NEP liegenden Schwelle des Empfängers erfindungsgemäß weiterhin

25

lediglich die bestimmten charakteristischen Zeitpunkte verwendet werden.

Die Schwelle des Empfängers kann in Abhängigkeit von dem jeweiligen Anwendungsfall unterschiedlich eingestellt werden, insbesondere in Ab-

hängigkeit von dem Mittelungsaufwand und/oder von der Nachweisempfindlichkeit. Als Maß für eine vorzunehmende Änderung der Empfängerschwelle kann beispielsweise die Anzahl von Rauschpulsen pro Zeiteinheit - unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit also pro Längeneinheit - dienen. Dieses Maß kann aus den Messwerten abgeleitet werden, z.B. aus der Dichte der bestimmten Zeitpunkte in den Einzelmessungen.

Vorzugsweise erfolgen die Erzeugung und die Mittelung der Einzelmessungen sowie der Nachweis der Veränderungen des Rauschens mittels eines softwaregestützten Auswerteverfahrens.

Des Weiteren ist bevorzugt vorgesehen, dass mittels der im Rauschen liegenden Schwelle des Empfängers aus dem analogen Empfangssignal, das Rauschpulse und/oder durch die Signalepulse veränderte Rauschpulse enthält, eine Folge von logischen Pulsen erzeugt wird, aus der die Einzelmessung abgeleitet wird. Diese Folge von logischen Pulsen wird auch als logische Messung bezeichnet. Die logische Messung enthält nur noch Informationen über die Zeitpunkte, an denen die Schwelle des Empfängers von dem auch als analoge Messung bezeichneten Empfangssignal durchbrochen wurde.

Hierdurch wird eine drastische Datenreduktion erzielt, wobei aber die wichtigen, Informationen über das gesuchte Signal enthaltenden Daten gerade nicht verloren gehen, da sich die durch das Signal hervorgerufene Veränderung des Rauschens aufgrund der im zeitlichen Bereich des Signals erfolgenden Verbreiterung der Rauschpulse unmittelbar auf die Lage der Durchbrechungszeitpunkte auswirkt. Bei dieser geschickten Datenreduktion bleibt folglich nur das unberücksichtigt, was nicht benötigt

wird.

Bevorzugt sind es die Flanken der logischen Pulse, die erfindungsgemäß als Zeitpunkte der Einzelmessung verwendet werden.

5

Des Weiteren wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass die Zeitpunkte der Einzelmessung in wenigstens einen Speicher des Empfängers geschrieben werden. Derjenige Speicher, in den jede Einzelmessung unmittelbar nach ihrer Erzeugung vorübergehend geschrieben wird, ist vor-

10 zugungsweise Bestandteil eines IC-Bausteins.

Vorzugsweise werden die Zeitpunkte der Einzelmessung zunächst in einem Speicher, insbesondere einem Speicher eines IC-Bausteins, zwischengespeichert und anschließend in einen weiteren Speicher, insbesondere einen Zeitrasterspeicher, übertragen, wobei in dem weiteren Speicher die Zeitpunkte in einer ihre jeweilige Zeitinformation berücksichtigenden Anordnung abgelegt werden. Bevorzugt werden die Zeitpunkte in dem einen Speicher durch Zahlen, die insbesondere Zählerständen eines während der Messung die Takte eines Taktgeber zählenden Zählers entsprechen, und in dem weiteren Speicher durch Speicheradressen repräsentiert, wobei eine eindeutige Zuordnung zwischen Zahlen und Speicheradressen besteht.

25 Ferner ist es bevorzugt, wenn die Mittelung der Einzelmessungen in wenigstens einem Zeitrasterspeicher durchgeführt wird, wobei vorzugsweise für alle zu mittelnden Einzelmessungen der gleiche Zeitrasterspeicher verwendet wird, und wobei die entsprechende Speicherzelle des Zeitrasterspeichers im Fall einer aufsteigenden Pulsflanke um einen Wert n erhöht

und im Fall einer abfallenden Flanke um den Wert n vermindert wird, oder umgekehrt, wobei bevorzugt für n der Wert 1 verwendet wird.

Derjenige Zeitrasterspeicher, in dem die Mittelung der Einzelmessungen erfolgt, ist vorzugsweise mit demjenigen Speicher, in den die Einzelmessungen jeweils zunächst eingebracht werden, nicht identisch, sondern Bestandteil eines Prozessorsystems, das mit einem den ersten Speicher umfassenden IC-Baustein über eine Parallelschnittstelle verbunden ist.

- 10 Vorzugsweise wird bei der Mittelung der Einzelmessungen ein Zeitraster verwendet, in welchem die Messzeit in eine Vielzahl von aufeinander folgenden Zeitfenstern unterteilt ist. Dabei ist vorzugsweise für jeden der verwendeten Zeitrasterspeicher jedem Zeitfenster eine Speicherzelle zugeordnet, so dass die in die aufeinander folgenden Zeitfenster unterteilte
- 15 Messzeit bzw. die während der Messzeit bestimmten charakteristischen Zeitpunkte in den Zeitrasterspeichern abgebildet werden können.

Die Mittelung der Einzelmessungen kann also dadurch erfolgen, dass innerhalb des gleichen Zeitrasterspeichers für jedes Zeitfenster die Anzahl

20 von Durchbrechungen der Schwelle des Empfängers insbesondere vorzeichenrichtig gezählt oder gemittelt wird, indem der Wert der betreffenden Speicherzelle jeweils entsprechend verändert wird.

Nachdem die letzte der zu mittelnden Einzelmessungen berücksichtigt

25 wurde, kann für jedes Zeitfenster die Zahl der ermittelten Durchbrechungen der Empfängerschwelle durch die auch als Mittelungstiefe bezeichnete Anzahl der gemittelten Einzelmessungen dividiert werden, womit die Mittelung der Einzelmessungen abgeschlossen ist. Alternativ ist es möglich,

für jedes Zeitfenster bei jeder in diesem Zeitfenster auftretenden Durchbrechung der Empfängerschwelle die entsprechende Speicherzelle des Zeitrasterspeichers um den Wert "1/Mittelungstiefe" zu erhöhen oder zu vermindern, d.h. die Division durch die Anzahl der gemittelten Einzelmessungen vorzunehmen, bevor der Zeitrasterspeicher beschrieben wird.

Des Weiteren ist erfindungsgemäß bevorzugt vorgesehen, dass im Anschluss an die Mittelung der Einzelmessungen der Mittelwert zu einer Amplitudenfunktion integriert wird. Die Amplitudenfunktion wird im Folgenden auch als Software-Amplitude oder SW-Amplitude bezeichnet. Während die Einzelmessungen jeweils die zeitliche Ableitung der aus der analogen Messung über die Durchstoßstellen der Empfängerschwelle erhaltenen logischen Messung darstellen und somit die Mittelung der Einzelmessungen gewissermaßen in der "differenzierten Welt" stattfindet, d.h. Ableitungen der logischen Amplituden nach der Zeit gebildet werden, um durch die hiermit erzielte Datenreduktion eine drastische Ersparnis an Rechen-, Speicher- und Auswerteaufwand zu erzielen, stellt die anschließende Integration des Ergebnisses der Mittelung der Einzelmessungen gewissermaßen die Rückkehr in die "reale Welt" dar, d.h. es liegen wieder Amplituden als Funktion der Zeit vor. Dabei wurde jedoch durch die Mittelung der Einzelmessungen das Rauschen gegenüber dem Signal um ein insbesondere durch die Mittelungstiefe, d.h. durch die Anzahl der gemittelten Einzelmessungen, bestimmtes Maß herabgesetzt.

Da ein vollständiges "Herausmitteln" des reinen Rauschens nur durch Mittelung unendlich vieler Einzelmessungen erreichbar wäre, ist auch die Amplitudenfunktion in den zeitlichen Bereichen reinen Rauschens nicht exakt glatt. Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung kann

die Empfindlichkeit aber weiter dadurch gesteigert werden, dass die Bandbreite der Amplitudenfunktion herabgesetzt wird, indem in der Amplitudenfunktion z.B. jeweils über eine vorgegebene Anzahl aufeinander folgender Zeitfenster gemittelt wird. Eine solche auch als horizontale Mittelung
5 bezeichnete Maßnahme führt zu einer Glättung der Amplitudenfunktion, wodurch insbesondere Rauschen infolge von Quantisierung reduziert wird.

Um die von den Signalen hervorgerufenen Veränderungen des Rauschens
10 nachzuweisen, wird vorzugsweise auf die Amplitudenfunktion eine Nachweisschwelle angewendet. Da sich das erfindungsgemäße Verfahren vorzugsweise spätestens von der Mittelung der Einzelmessungen an im Rahmen einer softwaregestützten Auswertung abspielt, d.h. alle Operationen softwaremäßig erfolgen, wird die auf die Amplitudenfunktion angewendete
15 Nachweisschwelle auch als Software-Schwelle oder kurz SW-Schwelle bezeichnet.

Durch das Herabsetzen des Rauschens aufgrund der mit den Einzelmessungen durchgeführten Mittelung ragen in der Amplitudenfunktion auch
20 solche Signalepulse, die in der analogen Messung "im Rauschen untergegangen" waren und lediglich zu einer Veränderung des Rauschens führten, aus dem durch die Mittelung herabgesetzten Rauschen, das auch als Software-Rauschen bezeichnet werden kann, heraus.

25 Mittels der SW-Schwelle können nunmehr die aus dem (Software-)Rauschen heraus ragenden Signalepulse auf einfache Weise identifiziert werden. Anschaulich gesprochen wird - in Anlehnung an die eingangs erläuterte Event-Messung - in der Amplitudenfunktion zur Identifizierung der

gesuchten Signale also gewissermaßen eine solche "Event-Messung" durchgeführt, wobei dies aber zum einen softwaremäßig und zum anderen nicht an dem analogen Ausgangssignal eines Verstärkers, sondern an einem rein abstrakten Gebilde - nämlich der Amplitudenfunktion - erfolgt, die aus diskret verteilten Zeitpunkten des ursprünglichen analogen Signals gewonnen wurde.

Vorzugsweise wird in der Amplitudenfunktion für die Signalpulse jeweils die zugehörige Objektentfernung auf der Basis wenigstens eines Zeitpunktes bestimmt, an dem die Nachweisschwelle durchbrochen wird. Bei diesem Zeitpunkt handelt es sich insbesondere um den Zeitpunkt, an dem die vordere oder aufsteigende Flanke des Signalpulses die Nachweisschwelle durchstößt.

Da der mittels der Nachweis- oder SW-Schwelle bestimmte Zeitpunkt als Grundlage für die Entfernungsmessung dient und sich Ungenauigkeiten bei der Bestimmung dieses Zeitpunktes unmittelbar auf die daraus berechnete Objektentfernung auswirken, kann gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung die Genauigkeit gesteigert werden, wenn in der Amplitudenfunktion zur Bestimmung von Fußpunkten der Signalpulse jeweils im Bereich der aufsteigenden und/oder abfallenden Flanke des Signalpulses eine Extrapolation des Rauschens durchgeführt, eine hierbei erhaltene Rauschfunktion von der Amplitudenfunktion abgezogen und als Fußpunkt der Schnittpunkt der interpolierten Pulsflanke mit der Nulllinie bestimmt wird, wobei die Objektentfernungen auf der Basis der Fußpunkte bestimmt werden. Mit "Nulllinie" ist hier der lokale mittlere Wert des Rauschens gemeint.

Die Flanken der Signalpulse werden hier dadurch bereinigt, dass die mit der Amplitudenfunktion oder SW-Amplitude zur Verfügung stehende Information genutzt wird. Diese auch als Rauschkompensation bezeichnete Maßnahme nutzt den Umstand aus, dass die Fußpunkte keine oder
5 zumindest eine geringere Abhängigkeit von der Amplitude der Signalpulse aufweisen als die Schnittpunkte der Signalpulsflanken mit der Nachweis- bzw. SW-Schwelle, so dass zum einen eine höhere Genauigkeit erzielt und zum anderen der Einfluss der grundsätzlich unvermeidbaren Amplitudenabhängigkeit vermindert wird.

10

Ferner wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass in der Amplitudenfunktion die Form der Signalpulse ausgewertet wird. Hierdurch lassen sich zusätzlich zu den Objektentfernungen weitere Informationen über die Objekte erhalten, an denen die ausgesandten Strahlungspulse reflektiert
15 wurden. Die Form der Signalpulse wird insbesondere durch die Form, die Ausdehnung, die Struktur und die Oberflächenbeschaffenheit der reflektierenden Objekte beeinflusst, so dass aus der Form der Signalpulse Rückschlüsse auf die Art des Objektes gezogen werden können.

20 Erfindungsgemäß ist von besonderem Vorteil, dass die Signalpulse in der Amplitudenfunktion softwaremäßig vorliegen, wodurch zum einen überhaupt erst eine Analyse der Signalpulse hinsichtlich ihrer Pulsform ermöglicht wird und zum anderen auf einfache Weise die verschiedensten Auswerteverfahren zur Ermittlung der Pulsform angewendet werden
25 können.

Die Mittelung der Einzelmessungen erfolgt vorzugsweise päckchenweise, indem zur Bildung von Päckchenmittelwerten nacheinander jeweils eine

Anzahl von Einzelmessungen summiert und durch die Anzahl von Einzelmessungen dividiert wird. Durch den Begriff "Päckchen" wird hier zum Ausdruck gebracht, dass zur Bestimmung der Objektentfernungen eine Mehrzahl von Einzelmessungen herangezogen wird, d.h. um einen einzigen Wert für eine Objektentfernung zu erhalten, wird eine als Päckchen bezeichnete Mehrzahl von Einzelmessungen verwendet.

Die Objektentfernungen können jeweils aus einem einzigen Päckchenmittelwert bestimmt werden. Alternativ ist es möglich, über eine Mehrzahl von Päckchen zu mitteln und die Objektentfernungen aus dem hierdurch gebildeten Mittelwert zu bestimmen. Da bei dieser weiteren Mittelung eine größere Anzahl von Einzelmessungen berücksichtigt wird, lassen sich hierdurch Empfindlichkeit und Genauigkeit der Entfernungsmessung weiter verbessern. Ein weiterer Vorteil der Mittelung mehrerer Päckchen besteht darin, dass spezielle Mittelungsverfahren zum Einsatz kommen können, und zwar insbesondere solche, die bei der zur Päckchenbildung durchgeführten Mittelung der Einzelmessungen nicht anwendbar sind oder nicht angewendet werden sollen, z.B. aufgrund eines zu hohen Bedarfs an Rechenzeit.

20

Bei der im Folgenden auch einfach als Sensor bezeichneten erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass der Empfänger einen Verstärker zur Erzeugung eines analogen Empfangssignals und eine Einrichtung mit wenigstens einer im Rauschen liegenden Schwelle umfasst, mit der aus dem analogen Empfangssignal eine Folge von logischen Pulsen erzeugbar ist, und dass dem Empfänger eine Auswerteeinrichtung zugeordnet ist, mit der für eine Mehrzahl von ausgesandten Strahlungspulsen aus Zeitpunkten, die den Flanken der logischen Pulse entsprechen, jeweils ei-

25

ne Einzelmessung erzeugbar und zum Nachweis von Veränderungen des Rauschens, die von den Signalpulsen hervorgerufen werden, eine Mittelung der jeweils die bestimmten Zeitpunkte umfassenden Einzelmessungen durchführbar ist.

5

Der Empfänger umfasst vorzugsweise ein zum Nachweis elektromagnetischer Strahlung ausgebildetes Element, das insbesondere in Form einer Fotodiode, vorzugsweise einer Fotodiode vom APD-Typ, vorgesehen ist. Der Sender umfasst zur Aussendung der Strahlungspulse vorzugsweise eine
10 Laserdiode.

15

Die Einrichtung mit der wenigstens einen im Rauschen liegenden Schwelle umfasst bevorzugt wenigstens einen Komparator mit einer die Schwelle bildenden Referenz, wobei jedoch prinzipiell zur Erzeugung der logischen
15 Pulse aus dem analogen Empfangssignal anstelle eines Komparators auch ein Begrenzungsverstärker (limiting amplifier) vorgesehen sein kann.

20

Zur Bestimmung von Zeitspannen, die jeweils von der Aussendung eines Strahlungspulses bis zu einem einer Flanke eines logischen Pulses entsprechenden Zeitpunkt verstreichen, ist bevorzugt ein Taktgeber zur Abgabe von Taktpulsen bekannter Breite mit bekannter Frequenz sowie ein Zähler vorgesehen, mit dem die während der Zeitspanne abgegebenen Taktpulse zählbar sind. Durch eine solche zentrale "Mess-Clock" kann die Zeitbasis des erfindungsgemäßen Entfernungsmessers festgelegt werden.

25

Vorzugsweise ist die Messzeit in eine Vielzahl von aufeinander folgenden Zeitfenstern unterteilt, wobei die Auswerteinrichtung wenigstens einen Zeitrasterspeicher umfasst, dessen Speicherzellen jeweils einem Zeitfens-

ter zugeordnet sind.

Dabei ist bevorzugt vorgesehen, dass der Wert jeder Speicherzelle durch eine in das entsprechende Zeitfenster fallende Pulsflanke veränderbar ist, wobei vorzugsweise jede Speicherzelle durch eine aufsteigende Pulsflanke um einen Wert n erhöhbar und durch eine abfallende Flanke um den Wert n vermindерbar ist, oder umgekehrt, wobei bevorzugt für n der Wert 1 vorgesehen ist.

- 10 Die Erzeugung und die Mittelung der Einzelmessungen sowie der Nachweis der Veränderungen des Rauschens sind bevorzugt mittels eines softwaregestützten Auswerteverfahrens durchführbar.

- 15 Die Auswerteeinrichtung umfasst vorzugsweise wenigstens einen IC-Baustein, in dem zumindest die Erzeugung der Einzelmessungen durchgeführt werden kann.

- 20 Ferner ist bevorzugt vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung wenigstens einen Prozessor und zumindest eine Schnittstelle zur Übertragung der erzeugten Einzelmessungen von dem IC-Baustein in den Prozessor umfasst, wobei zumindest die Mittelung der Einzelmessungen sowie der Nachweis der Veränderungen des Rauschens mittels des Prozessors und wenigstens eines Speichers durchführbar sind.

- 25 Der erfindungsgemäße Entfernungsmesser kann einen oder mehrere Messkanäle aufweisen. Im Fall einer Mehrkanal-Variante ist bevorzugt für jeden Kanal eine Empfangsdiode mit zugehörigem Verstärker und Komparator vorgesehen.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass zur Realisierung eines zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Sensors am prinzipiellen Grundaufbau herkömmlicher Sensoren keine grundsätzlichen Änderungen oder Erweiterungen vorgenommen werden müssen. Die Erfindung lässt sich prinzipiell mit herkömmlichen Komponenten realisieren, wobei es allerdings bevorzugt ist, einen speziell ausgebildeten IC-Baustein vorzusehen, mit dem zumindest die Erzeugung der Einzelmessungen durchgeführt werden kann.

Insbesondere erlaubt es die erst durch die Erfindung ermöglichte drastische Empfindlichkeitssteigerung, Sensoren zu realisieren, die im Vergleich zu herkömmlichen Sensoren wesentlich einfacher aufgebaut sind, kleinere Abmessungen besitzen und/oder kostengünstiger hergestellt werden können, ohne dabei auch nur geringfügige Einbußen bei der Leistungsfähigkeit, insbesondere bei der Empfindlichkeit, und allenfalls geringe Einbußen bei der Genauigkeit hinnehmen zu müssen.

Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer Vorrichtung zur Entfernungsmessung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2a-2c am Beispiel einer Messung ohne Signal die analoge Messung selbst (Fig. 2a), die daraus abgeleitete logische Messung (Fig. 2b) sowie die daraus abgeleitete Einzelmessung (Fig. 2c),

- Fig. 3a-3c am Beispiel von zehn Einzelmessungen ohne Signal die zehn Einzelmessungen selbst (Fig. 3a), die Mittelung dieser zehn Einzelmessungen (Fig. 3b) und die aus der Mittelung durch Integration abgeleitete Software-Amplitude (Fig. 3c),
- 5 Fig. 4a-4b beispielhaft die Integration einer Mittelung mehrerer Einzelmessungen (Fig. 4a) zur Software-Amplitude (Fig. 4b) in einem gegenüber Fig. 3 vergrößerten Maßstab, und
- 10 Fig. 5a-5f am Beispiel einer Messung mit Signal das Signal selbst ohne Rauschen (Fig. 5a), eine analoge Messung, die Rauschen und das Signal enthält (Fig. 5b), die Software-Amplitude für eine einzige Einzelmessung (Fig. 5c), die durch Mittelung und Integration von 10 Einzelmessungen ermittelte Software-Amplitude (Fig. 5d), die durch Mittelung und Integration von 100 Einzelmessungen ermittelte Software-Amplitude (Fig. 5e) und
- 15 die durch Mittelung und Integration von 1000 Einzelmessungen ermittelte Software-Amplitude (Fig. 5f).
- 20 Zunächst soll anhand der Fig. 1-5 das Prinzip des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert werden, bevor auf Einzelheiten einer Entfernungsmessvorrichtung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann, und auf praktische Anwendungen, die durch die Erfindung ermöglicht werden, näher eingegangen wird. Die Darstellungen der Fig. 2-
- 25 5 wurden durch Simulationsrechnungen erhalten.

Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Entfernungsmessung (Sensor), die zur Durchführung des erfindungsgemäßen

Entfernungsmessverfahrens ausgebildet ist.

Der Sensor umfasst einen Sender 11 mit einer nicht dargestellten Laserdiode zur Aussendung gepulster elektromagnetischer Strahlung 13. Von innerhalb der Reichweite des Sensors gelegenen Objekten 19 reflektierte Signalpulse 15 gelangen auf eine Empfangsdiode 61 eines Empfängers 17 des Sensors, d.h. der Sendestrahl deckt das von der Empfangsdiode 61 bestimmte Sehfeld ab.

10 Eine dem Sender 11 zugeordnete Sendeoptik 53 sowie eine dem Empfänger 17 zugeordnete Empfangsoptik 55 sind hinter einer für die verwendete Strahlung durchlässigen Sensorabdeckung 51 angeordnet.

Der Empfangsdiode 61 ist ein Verstärker 35 sowie ein Komparator 39 nachgeordnet. Der Verstärker 35 liefert ein im Folgenden auch als analoge Messung bezeichnetes analoges Empfangssignal, das zusätzlich zu den empfangenen Signalen bzw. Signalpulsen Rauschen enthält, worauf nachstehend näher eingegangen wird.

20 Die im Folgenden auch als Hardware- oder HW-Schwelle bezeichnete Referenz des Komparators 39 ist in Abhängigkeit von dem jeweiligen Anwendungsfall eingestellt, insbesondere entsprechend der gewünschten Empfindlichkeit.

25 Mittels der HW-Schwelle wird aus dem analogen Empfangssignal des Verstärkers 35 eine Folge von logischen Pulsen erzeugt, die einem nachgeordneten IC-Baustein 45 des Sensors zugeführt werden, der Bestandteil einer Steuer- und Auswerteinrichtung 41 des Sensors ist. Der IC-Baustein 45

umfasst einen Speicher 25, auf den nachstehend näher eingegangen wird. Der Speicher 25 dient dazu, so genannte Einzelmessungen zu speichern, die aus charakteristischen Zeitpunkten der analogen Messung bestehen, welche mittels des Komparators 39 aus der analogen Messung über die
5 logischen Pulse abgeleitet werden.

Die mittels des Sensors zu bestimmende Objektentfernung wird durch Mittelung einer Mehrzahl derartiger Einzelmessungen erhalten. Hierzu ist dem IC-Baustein 45 über eine Parallelschnittstelle 49 ein Prozessorsystem
10 63 nachgeordnet, an welches die im Speicher 25 des IC-Bausteins 45 enthaltenen Einzelmessungen jeweils übertragen werden. Zwischen dem IC-Baustein 45 und dem Prozessorsystem 63 ist außerdem ein Shiftregister-Multiplexer vorgesehen.

15 Das Prozessorsystem 63 umfasst einen Mikroprozessor 47 zur Steuerung aller relevanten Operationen des Sensors, eine als Zeittaktgeber zur Festlegung einer Zeitbasis für die Laufzeitmessung dienende zentrale Mess-Clock 43, einen Zähler 67 zum Zählen der Zeittakte der Mess-Clock 43 sowie ein mehrere Zeitrasterspeicher, auf die nachstehend ebenfalls näher
20 eingegangen wird, umfassendes Speichersystem 27, in dem die Mittelung der vom IC-Baustein 45 übertragenen Einzelmessungen erfolgt.

Über eine Schnittstelle 59 können die mit dem Prozessorsystem 63 ermittelten Objektentfernungen ausgegeben werden.

25

Der erfindungsgemäße Sensor kann als Mehrkanal-Variante ausgelegt sein, so dass eine Entfernungsmessung gleichzeitig in mehreren parallelen Messkanälen möglich ist. In diesem Fall umfasst der Empfänger 17 ein

Array aus Empfangsdioden 61 und diesen zugeordneten Verstärkern 35 sowie Komparatoren 39, während der IC-Baustein 45 für jeden Messkanal einen Speicher 25 enthält und das Speichersystem 27 des Prozessorsystems 63 ebenfalls eine der Anzahl der Messkanäle entsprechende Zahl von
5 identischen, parallel arbeitenden Speicheranordnungen aufweist. Im Fall eines solchen Mehrkanal-Sensors wird vorzugsweise der vom Sender 11 ausgesandte Sendestrahl 13 derart geformt, dass er die Sehfelder aller Empfangskanäle, also alle Empfangsdioden 61, abdeckt.

10 Da erfindungsgemäß die Entfernungsmessung durch Mittelung erfolgt, sollten während der Messung gleich bleibende Bedingungen herrschen, d.h. das Objekt sollte sich während der Messung weder verändern noch relativ zum Sensor bewegen, zumindest innerhalb eines Zeitraumes, der dazu ausreicht, so viele Strahlungspulse in Richtung des Objektes auszu-
15 senden, wie für die von den jeweiligen Gegebenheiten abhängige Mittelungstiefe erforderlich sind. Bevorzugte, aber keinesfalls ausschließliche Anwendungen der Erfindung betreffen folglich stehende oder starre Sensoren. Derartige Anwendungen werden auch als 1-dimensionale Anwendungen bezeichnet, da der Sensor lediglich in genau eine Richtung
20 "blickt".

Die folgende Erläuterung des erfindungsgemäßen Messverfahrens, das mittels des vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Sensors durchgeführt werden kann, bezieht sich auf Vorgänge in einem einzigen Mess-
25 kanal. Bei einem Mehrkanal-Sensor laufen diese Vorgänge gleichzeitig in den parallelen Messkanälen ab.

Fig. 2a zeigt das zeitliche Verhalten des Ausgangssignals 37 eines an eine

Empfangsdiode angeschlossenen Verstärkers, wenn die Empfangsdiode kein Signal empfängt, d.h. nicht mit elektromagnetischer Strahlung eines interessierenden Signals beaufschlagt wird. Fig. 2a zeigt somit das stets vorhandene Rauschen, das statistisch verteilte Rauschpulse umfasst, die oberhalb und unterhalb der Nulllinie liegen. Dabei entspricht die Nulllinie 0 NEP.

Das Ausgangssignal 37 des Verstärkers wird einem Komparator zugeführt, dessen im Folgenden als Hardware-Schwelle oder HW-Schwelle bezeichnete Referenz 21 auf einen Wert eingestellt ist, der innerhalb des Rauschens liegt, wie Fig. 2a zeigt. "Innerhalb des Rauschens" bedeutet insbesondere, dass die HW-Schwelle 21 zwischen -4,5 NEP und +4,5 NEP liegt. Die HW-Schwelle 21 kann z.B. bei 0 NEP liegen. Bei dieser Einstellung ist zwar einerseits die Nachweisempfindlichkeit, andererseits aber auch die Mittelungstiefe und damit die zum Nachweis eines Signals für die Mittelung benötigte Rechenzeit am größten. Eine Einstellung der HW-Schwelle 21 auf einen Wert unter 0 NEP ist erfindungsgemäß möglich. Ferner ist es möglich, die HW-Schwelle 21 auf einen Wert weit oberhalb von +4,5 NEP einzustellen, d.h. weit über das Rauschen zu legen. Auf diese Weise kann mit der Erfindung entsprechend der eingangs erläuterten Event-Messung gearbeitet werden, d.h. insofern kann die Event-Messung als ein Spezialfall des erfindungsgemäßen Verfahrens betrachtet werden.

Dass die HW-Schwelle 21 gemäß Fig. 2a im Rauschen liegt, bedeutet, dass die HW-Schwelle 21 von den Rauschpulsen mehrfach durchbrochen wird. Aufgrund der endlichen Steigung, welche die Flanken der Rauschpulse aufweisen, und der unterschiedlichen Amplituden der Rauschpulse hängen die Zeitpunkte 33 (Fig. 2c), an denen die HW-Schwelle 21 durchbro-

chen wird, von der Lage der HW-Schwelle 21 ab, genauer gesagt von der Relativlage zwischen der HW-Schwelle 21 und der analogen Messung 37.

Erfindungsgemäß wird aus der analogen Messung 37 gemäß Fig. 2a mit
5 Hilfe der HW-Schwelle 21 des Komparators eine logische Messung erzeugt, die aus einer Folge von logischen Pulsen 23 gleicher Höhe besteht, wie es in Fig. 2b gezeigt ist. Die Flanken der logischen Pulse 23 liegen an den Zeitpunkten 33 (Fig. 2c), an denen die Flanken der Rauschpulse der analogen Messung 37 die HW-Schwelle 21 durchstoßen haben, wobei eine
10 aufsteigende Flanke eines Rauschpulses einer aufsteigenden Flanke eines logischen Pulses 23 sowie eine abfallende Flanke eines Rauschpulses einer abfallenden Flanke eines logischen Pulses 23 entspricht.

Die Feinheit oder zeitliche Auflösung des erfindungsgemäßen Verfahrens
15 ist also derart hoch, dass nicht nur das Überschreiten der HW-Schwelle 21 an sich detektiert und durch Erzeugen eines logischen Pulses 23 der weiteren Auswertung zugeführt, sondern weitaus mehr in der analogen Messung 37 steckende Information dadurch genutzt wird, dass zwischen einem Überschreiten und einem Unterschreiten der HW-Schwelle 21
20 durch die analoge Messung 37 unterschieden bzw. dass überhaupt detektiert wird, wann nach dem Überschreiten der HW-Schwelle 21 diese wieder unterschritten wird, oder umgekehrt. Folglich werden logische Pulse 23 erhalten, die eine unterschiedliche Breite aufweisen, wie Fig. 2b zeigt. Die Breite der logischen Pulse 23 bzw. die "Pausen" zwischen den logi-
25 schen Pulsen 23 geben an, wie lange das analoge Empfangssignal 37 oberhalb bzw. unterhalb der HW-Schwelle 21 liegt.

Anschließend wird aus den logischen Pulsen 23 der logischen Messung

gemäß Fig. 2b eine so genannte Einzelmessung erzeugt, indem die Zeitpunkte 33 der aufsteigenden und abfallenden Flanken der logischen Pulse 23 digitalisiert und in einer so genannten Event-Liste gespeichert werden. Diese Event-Liste stellt die in einer Einzelmessung enthaltene Information dar. Im Folgenden werden die aufsteigenden oder positiven Flanken auch als up-Events und die abfallenden oder negativen Flanken auch als down-Events bezeichnet.

Fig. 2c ist eine grafische Darstellung der gespeicherten, die Einzelmessung bildenden Event-Liste, wobei die nach oben weisenden, im Folgenden lediglich zur Veranschaulichung auch als "Nadeln" 33 bezeichneten Striche die up-Events und die nach unten weisenden Nadeln 33 die down-Events darstellen. Insofern kann die Einzelmessung gemäß Fig. 2c als die zeitliche Ableitung der von den logischen Pulsen 23 gebildeten logischen Messung, d.h. als durch Differentiation der logischen Messung erhalten betrachtet werden.

Die Erzeugung der Einzelmessung, also der Event-Liste, gemäß Fig. 2c erfolgt in einem IC-Baustein, der zur Speicherung der Event-Liste einen vergleichsweise kleinen, im Folgenden auch einfach als IC-Speicher bezeichneten Speicher aufweist, dessen Anzahl von Speicherplätzen lediglich in der Größenordnung der pro Einzelmessung erwarteten Rauschpulse liegt, d.h. größenordnungsmäßig der erwarteten Summe aus up-Events und down-Events entspricht. Für jedes Event wird ein Speicherplatz mit einer Zahl belegt, die dem Zählerstand des während der Messung die Takte der zentralen Mess-Clock (Fig. 1) zählenden Zählers entspricht. Damit enthalten die im Speicher des IC-Bausteins abgelegten Zahlen eine Zeitinformation, nämlich eine Information über den Zeitpunkt des Auftretens des be-

treffenden up- bzw. down-Events bezüglich der Aussendung des die Einzelmessung startenden Strahlungspulses. Die gesamte Event-Liste gemäß Fig. 2c ist folglich im Speicher des IC-Bausteins als eine Menge von Zählerständen abgelegt. Zur Unterscheidung zwischen up-Events einerseits und down-Events andererseits ist der Speicher in zwei Speicherbereiche unterteilt.

Der die Einzelmessung darstellende Inhalt des Speichers des IC-Bausteins enthält also lediglich die Information, wann und in welcher Richtung die im Rauschen liegende HW-Schwelle 21 von den Rauschpulsen der analogen Messung 37 durchstoßen wurde.

Hierdurch wird erfindungsgemäß die bereits mehrfach erwähnte drastische Datenreduktion erzielt, da im weiteren Verlauf des Verfahrens zur Entfernungsmessung lediglich die jeweils zwar vergleichsweise wenig, dafür aber gerade die maßgebliche Information enthaltenen Einzelmessungen verwendet werden.

Die Mittelung von Einzelmessungen und eine anschließende Integration des Ergebnisses der Mittelung zu einer Software-Amplitude sind in Fig. 3 veranschaulicht.

Erfindungsgemäß erfolgt die Bestimmung der Objektentfernungen durch Mittelung einer Mehrzahl von zeitlich aufeinander folgenden Einzelmessungen, wobei jede Einzelmessung charakteristische Zeitpunkte 33 dessen repräsentiert, was nach Aussendung eines Strahlungspulses von der Empfangsdiode empfangen wurde. Dabei ist es zwar bevorzugt, nicht aber zwingend, dass die zu mittelnden Einzelmessungen aus den analogen

Messungen unmittelbar aufeinander folgender ausgesandter Strahlungspulse erzeugt werden.

Die Mittelung der Einzelmessungen erfolgt nicht mehr in dem IC-Baustein, sondern in einem über eine Parallelschnittstelle mit dem IC-Baustein verbundenen Prozessorsystem, dem Zeitrasterspeicher zugeordnet sind.

Eine im IC-Baustein erzeugte Event-Liste wird anschließend sofort über die Parallelschnittstelle in einen Zeitrasterspeicher des Prozessorsystems übertragen, so dass der IC-Baustein zur Erzeugung der nächsten, insbesondere zu dem unmittelbar nachfolgend ausgesandten Strahlungspuls gehörenden Event-Liste bereit ist.

In den zur Mittelung der Einzelmessungen vorgesehenen Zeitrasterspeichern des Prozessorsystems entspricht jeweils jede Speicherzelle einem Zeitfenster endlicher Länge. Die Messzeit, während der die analoge Messung erfolgt - also die Zeit, die von der Reichweite des Sensors bzw. von der maximalen Entfernung, aus der Signale erwartet werden, abhängt - ist somit in eine Vielzahl von aufeinander folgenden Zeitfenstern gleicher Länge unterteilt, d.h. es wird erfindungsgemäß mit einem Zeitraster gearbeitet, dessen Rasterung der Aufteilung der Zeitrasterspeicher entspricht. Die Anzahl von Speicherzellen des Zeitrasterspeichers ist wesentlich größer als die Anzahl von Speicherplätzen des IC-Speichers, da für die Dimensionierung des IC-Speichers lediglich die relativ geringe Anzahl der erwarteten Events, für den Zeitrasterspeicher dagegen die vergleichsweise große Anzahl von Zeitfenstern bestimmend ist.

Jedes Zeitfenster und damit jeder Speicherplatz des Zeitrasterspeichers entspricht einem Zählerstand des die up-Events und down-Events und damit die Event-Liste enthaltenden IC-Speichers, so dass der Inhalt des IC-Speichers eindeutig auf den Zeitrasterspeicher abgebildet werden kann, indem für jeden im IC-Speicher vorhandenen Zählerstand der Inhalt der betreffenden Speicherzelle des Zeitrasterspeichers um den Wert 1 verändert wird, wie nachfolgend näher beschrieben wird.

Fig. 3a zeigt zehn nacheinander erzeugte Einzelmessungen, wobei jede Einzelmessung über eine Folge logischer Pulse entsprechend Fig. 2b aus einer analogen Messung 37 entsprechend Fig. 2a abgeleitet wurde, die in diesem Beispiel lediglich Rauschen, d.h. kein Signal enthält. Aufgrund der statistischen Verteilung der Rauschpulse sind die aus den Rauschpulsen abgeleiteten, in Fig. 3a wieder durch die nach oben und unten ragenden Nadeln dargestellten up-Events und down-Events der Einzelmessungen zeitlich zufällig verteilt.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass in einem Zeitfenster der mit Aussendung eines Strahlungspulses beginnenden Messzeit ein Event auftritt, ist also für alle Zeitfenster gleich groß, d.h. über alle Einzelmessungen betrachtet enthält jedes Zeitfenster die gleiche Anzahl von Events oder – anders ausgedrückt – die Nadeldichte ist zeitlich konstant, wobei dies in dieser Exaktheit nur für eine unendlich große Anzahl von gemittelten Einzelmessungen, also für eine unendlich große Mittelungstiefe gilt.

Das Beispiel der Fig. 3 weist lediglich eine Mittelungstiefe von zehn auf, so dass die Nadeldichte nicht exakt zeitlich konstant ist, wie Fig. 3b zeigt.

Je nach Feinheit des Zeitrasters, d.h. in Abhängigkeit von der Größe der Zeitfenster, ist es im Fall einer endlichen Mittelungstiefe mehr oder weniger wahrscheinlich, dass in ein Zeitfenster mehr als ein Event fällt. Dort, wo dies in dem Beispiel der Fig. 3 der Fall ist, wurde dies in Fig. 3b durch
5 Nadeln doppelter Normallänge veranschaulicht.

Technisch realisiert wird die Mittelung der Einzelmessungen dadurch, dass die Einzelmessungen nacheinander in den gleichen Zeitrasterspeicher des Prozessorsystems eingebracht werden. Hierbei wird jeweils für
10 ein in das i-te Zeitfenster fallendes Event die i-te Speicherzelle des Zeitrasterspeichers verändert, indem der Wert im Fall eines up-Events, also einer aufsteigenden Flanke, um 1 erhöht und im Fall eines down-Events, also im Fall einer abfallenden Flanke, um 1 vermindert wird.

15 Für jedes durch eine Speicherzelle des Zeitrasterspeichers repräsentierte Zeitfenster wird folglich während der Mittelung gezählt, wie oft in dieses Zeitfenster ein Event fällt, wobei up-Events positiv und down-Events negativ gewertet werden. Wenn lediglich Rauschen gemessen wird, d.h. wenn kein Signal vorhanden ist, dann ist im Fall einer unendlich großen Mittelungstiefe für jedes Zeitfenster das Auftreten von up-Events und down-
20 Events gleich wahrscheinlich, so dass für diesen theoretischen Grenzfall am Ende der Mittelung wieder der Ausgangswert jeder Speicherzelle des Zeitrasterspeichers vorhanden wäre.

25 Da jede Einzelmessung gemäß Fig. 2c die zeitliche Ableitung der zugrunde liegenden logischen Messung gemäß Fig. 2b darstellt und ausschließlich Einzelmessungen gemittelt werden, findet die vorstehend erläuterte Mittelung gewissermaßen in der "differenzierten Welt" statt.

Die Rückkehr in die "reale Welt" erfolgt im Anschluss an die Mittelung durch Integration der gemittelten Einzelmessungen (Fig. 3b) zu einer sogenannten Amplitudenfunktion 29, die in Fig. 3c dargestellt ist und im Folgenden auch als Software-Amplitude oder SW-Amplitude bezeichnet wird.

Bei der Integration wird für jedes Zeitfenster, also für jede Speicherzelle des Zeitrasterspeichers, die Summe aus dem Inhalt aller den früheren Zeitfenstern entsprechenden Speicherzellen und dem Inhalt der betreffenden Speicherzelle selbst gebildet, d.h. in die i-te Speicherzelle wird die Summe der Speicherzellen 1 bis i geschrieben. Jeder Summand ist nur dann von Null verschieden, wenn innerhalb des betreffenden Zeitfensters die Anzahl der aufgetretenen up-Events von der Anzahl der aufgetretenen down-Events verschieden ist, und der Wert eines von Null verschiedenen Summanden entspricht der mittleren Anzahl der überzähligen up-Events oder down-Events in dem betreffenden Zeitfenster, und zwar der mittleren Anzahl deshalb, da nicht jede Einzelmessung integriert wird, sondern die gemittelten Einzelmessungen, d.h. die Integration erfolgt nach der Mittelung.

Eine Umkehrung dieser Reihenfolge, d.h. eine Mittelung jeweils zuvor integrierter Einzelmessungen, würde zwar zu dem gleichen Ergebnis führen, da es sich bei der Mittelung und der Integration um lineare Rechenoperationen handelt, wäre jedoch mit einem erheblich größeren Rechenaufwand verbunden.

Die SW-Amplitude 29 gemäß Fig. 3c repräsentiert das Rauschen der analogen Messung 37 entsprechend Fig. 2a, wobei jedoch das Rauschen aufgrund der mit den Einzelmessungen durchgeführten Mittelung um einen von der Mittelungstiefe, also von der Anzahl der für die Mittelung verwendeten Einzelmessungen, abhängigen Faktor reduziert wurde. Bei einer un-

5 endlich großen Mittelungstiefe wäre die SW-Amplitude 29 gemäß Fig. 3c eine glatte horizontale Linie. Das Rauschen in der SW-Amplitude 29 kann daher als SW-Rauschen bezeichnet werden.

10 Für dieses Herabdrücken des Rauschens ist erfindungsgemäß lediglich ein vergleichsweise geringer Rechenaufwand erforderlich, da nur die den Flanken der logischen Pulse 23 (Fig. 2b) entsprechenden charakteristischen Zeitpunkte 33, welche die Einzelmessungen bilden, als Grundlage für die Mittelung verwendet werden, wobei außerdem die Mittelung nur

15 das Addieren und Subtrahieren des Wertes 1 umfassende Operationen im Zeitrasterspeicher erfordert.

Das in Fig. 3b graphisch dargestellte Ergebnis der Mittelung der Mehrzahl von Einzelmessungen kann anschaulich als Päckchenmittelwert bezeichnet werden, wenn man die Mehrzahl der Einzelmessungen als Päckchen

20 von Einzelmessungen betrachtet, d.h. die erfindungsgemäße Mittelung der Einzelmessungen somit päckchenweise erfolgt. Der Übergang zu der Amplitudenfunktion oder SW-Amplitude 29 gemäß Fig. 3c erfolgt dann durch Integration des gemittelten Päckchens von Einzelmessungen oder – anders

25 ausgedrückt – durch Integration des Päckchenmittelwertes. Insgesamt wird hierdurch also der Takt für die Weiterbearbeitung des Zeitrasterspeichers um die Mittelungstiefe reduziert.

Aus dem Beispiel der Fig. 4 geht das vorstehend erläuterte Prinzip der Integration von gemittelten Einzelmessungen (Fig. 4a) zu einer SW-Amplitude 29 (Fig. 4b) deutlicher hervor.

5 Dass es sich bei Fig. 4a nicht um eine Einzelmessung, sondern um das Ergebnis einer Mittelung mehrerer Einzelmessungen handelt, ist bereits daran zu erkennen, dass mehrmals Events gleicher Orientierung, d.h. up-Events bzw. down-Events, unmittelbar aufeinander folgen, was bei einer aus einer realen analogen Messung abgeleiteten Einzelmessung naturge-
10 mäß nicht möglich ist, da dort einem up-Event ein down-Event folgen muss, und umgekehrt, wie man sich mit Hilfe von Fig. 2 leicht klarmachen kann.

Mit Ausnahme eines einzigen Zeitfensters hat jede Speicherzelle des die
15 Mittelung gemäß Fig. 4a enthaltenden Zeitrasterspeichers den Wert 1. Die Ausnahme ist durch eine nach unten weisende Nadel mit doppelter Normallänge veranschaulicht, d.h. in dieses Zeitfenster fielen genau zwei down-Events, die innerhalb der Genauigkeit des Zeitrasters folglich zum gleichen Zeitpunkt, jeweils gerechnet ab Aussendung des zugehörigen
20 Strahlungspulses, auftraten.

Für die SW-Amplitude 29 bedeutet dies, dass die bei der vorstehend in Verbindung mit Fig. 3b beschriebenen Integration gebildeten Summen sich zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitfenstern nur ein einziges
25 Mal nicht um den Wert 1 ändern. Diese Ausnahme ist eine Änderung um den Wert 2, der von dem vorstehend erwähnten, zwei down-Events enthaltenden Zeitfenster herrührt.

Fig. 5 zeigt, dass mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens Signale nachgewiesen werden können, die im Rauschen liegen. Insbesondere können solche Signale nachgewiesen werden, deren maximale Amplitude deutlich kleiner als 4,5 NEP ist.

5

Ein derartiges Signal 15 ist in Fig. 5a in Form eines im Vergleich zur Messzeit kurze Dauer aufweisenden Signalpulses 15 ohne Rauschen dargestellt.

- 10 Fig. 5b zeigt eine analoge Messung 37 entsprechend Fig. 2a, wobei jedoch das Rauschen und das Signal 15 von Fig. 5a einander überlagert sind. Diese Überlagerung bedeutet, dass das Rauschen durch das Signal 15 verändert ist oder - mit anderen Worten - das Signal 15 im Rauschen enthalten ist. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, diese Ver-
15 änderung des Rauschens und damit das Signal 15 nachzuweisen, obwohl das Signal 15 tief im Rauschen liegt und nicht aus den Rauschen herausragt.

- Hierbei nutzt die Erfindung den Umstand, dass im zeitlichen Bereich des
20 Signals 15 die analoge Messung 37 gegenüber einer reinen Rauschmessung ins Positive verschoben ist. Diese Verschiebung erhöht die Wahrscheinlichkeit dafür, dass im zeitlichen Bereich des Signals 15 die HW-Schwelle 21 überschritten wird, so dass dort - d.h. in den im zeitlichen Bereich des Signals 15 liegenden Zeitfenstern - im zeitlichen Mittel - also
25 bei einer Mittelung aufeinander folgender Einzelmessungen - eine größere Anzahl von up-Events gefolgt von einer größeren Zahl von down-Events auftritt als in ausschließlich verrauschten Bereichen ohne Signal, in denen die Events statistisch verteilt sind.

Die für den Nachweis eines Signals 15 erforderliche Mittelungstiefe ist u.a. von der Höhe des Signals 15 abhängig. Dies wird durch die Fig. 5c-5f veranschaulicht, die SW-Amplituden 29 für unterschiedliche Mittelungstiefen zeigen.

Fig. 5c entspricht einer Mittelungstiefe von 1, d.h. die dargestellte SW-Amplitude 29 wurde durch Integration einer einzigen Einzelmessung erhalten. Für diesen Spezialfall ist die SW-Amplitude 29 mit der logischen Messung (Fig. 2b) identisch, an welcher es unmöglich wäre, ein Signal zu erkennen.

Die Fig. 5d, 5e und 5f zeigen SW-Amplituden 29 für Mittelungstiefen von 10, 100 bzw. 1.000. Mit zunehmender Mittelungstiefe wächst das Signal 15 immer weiter aus dem Rauschen heraus. Während bei einer Mittelungstiefe von 10 (Fig. 5d) das Signal 15 noch nicht erkennbar ist, liegt bei einer Mittelungstiefe von 100 (Fig. 5e) das Signal 15 bereits deutlich oberhalb des Rauschens. Bei einer Mittelungstiefe von 1.000 (Fig. 5f) ist das Rauschen bereits derart weit herabgedrückt, dass das Signal 15 eindeutig identifiziert werden kann.

Zur Bestimmung der Entfernung, an welchem sich das Objekt 19 befindet, von dem der ausgesandte Strahlungspuls 13 reflektiert und als Signalpuls 15 (Fig. 5a und 5f) empfangen wurde (Fig. 1), wird der Zeitpunkt des Beginns der vorderen Flanke des Signalpulses 15 benötigt, wenn die Entfernung unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit aus der Zeitspanne berechnet wird, die zwischen der vorderen Flanke des ausgesandten Strahlungspulses 13 und der vorderen Flanke des Signalpulses 15 ver-

streicht.

Um den das Ende dieser Zeitspanne bildenden Zeitpunkt zu bestimmen, wird auf die SW-Amplitude 29 eine im Folgenden auch als Nachweisschwelle 31 bezeichnete Software-Schwelle oder SW-Schwelle angewendet, die in Fig. 5f beispielhaft eingezeichnet ist. Diese Nachweisschwelle 31 ist insofern eine SW-Schwelle 31, als ihre Anwendung auf die SW-Amplitude 29 im Rahmen des im Mikroprozessor ablaufenden softwaregestützten Auswerteverfahrens erfolgt.

10

Aus demjenigen Zeitpunkt 65, an dem die vordere Flanke des Signalpulses 15 die Nachweisschwelle 31 durchstößt, kann unter Verwendung der Lichtgeschwindigkeit die gesuchte Objektentfernung berechnet werden. Da die Bestimmung dieses Zeitpunktes 65 aus dem Schnittpunkt der vorderen Flanke des Signalpulses 15 und der SW-Schwelle 31 softwaremäßig erfolgt, wird der Zeitpunkt 65 auch als Software- oder SW-Event bezeichnet.

15

Um die Genauigkeit der Entfernungsmessung zu erhöhen, kann im Rahmen des softwaregestützten Auswerteverfahrens der Umstand ausgenutzt werden, dass die SW-Amplitude 29 noch mehr Information enthält, die bislang unberücksichtigt geblieben ist. Hierauf wird nachstehend näher eingegangen.

20

Ein Vorteil der Erfindung ist, dass beliebig kleine Signale 15 nachgewiesen werden können, da die HW-Schwelle 21 beliebig weit ins Rauschen hinein gelegt werden und beispielsweise auch bei 0 NEP liegen kann. Ein Herabsetzen der HW-Schwelle 21 erhöht lediglich die Anzahl der aus der analo-

25

gen Messung 37 erhaltenen Rauschpulse und damit die Anzahl der aus den logischen Pulsen 23 der logischen Messung (Fig. 2b) abgeleiteten Events 33 pro Einzelmessung, was eine Erhöhung der Mittelungstiefe erforderlich macht, um das Rauschen so weit herabzudrücken, dass in der SW-Amplitude 29 das Signal 15 ausreichend weit aus dem (SW-)Rauschen herausragt, um die SW-Schwelle 31 (Fig. 5f) anwenden zu können.

Bei der Überlegung, wie die SW-Schwelle 31 in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeitssteigerung gegenüber der eingangs erläuterten Event-Messung einzustellen sei, damit in der SW-Amplitude 29 die Signale 15 durch Anwenden der SW-Schwelle 31 mit ausreichender Sicherheit vom Rauschen getrennt werden können, wurde erfindungsgemäß basierend auf statistischen Überlegungen festgestellt, dass sich eine einfache Einstellregel angeben lässt, die wie folgt lautet:

15

$$\text{SW-Schwelle} = p \cdot m + 4,5 \sqrt{m \cdot p(1-p)} .$$

Hierin bedeuten:

20 m : Mittelungstiefe bei der Mittelung der Einzelmessungen
 $p = P(\text{HW}_{\text{Smin}})$: Wahrscheinlichkeit dafür, mit einer HW-Schwelle von HW_{Smin} und einer Mittelungstiefe von m in der SW-Amplitude Rauschpulse zu detektieren, wobei

$$P = 1 - \int_{-\infty}^{\text{Smin}} f(x) dx, \text{ mit}$$

25

$f(x)$ = Normalverteilungsdichte,

Smin = minimales Signal für eine als "sicher" definierte Messung, das bei der 9-fachen Standardabweichung liegt, also

bei 9 NEP im Fall der Event-Messung bzw. bei 9σ (σ = Standardabweichung) bezüglich des Rauschens der SW-Amplitude im Fall des erfindungsgemäßen Verfahrens, und $HW_{S_{min}} = 4,5 \text{ NEP}/E$, wobei E die gegenüber der Event-Messung geforderte Empfindlichkeitssteigerung ist und $m = E^2$ gilt.

In die erfindungsgemäße Einstellregelung für die SW-Schwelle 31 geht folglich als Definition von "ausreichend sicher" ein, dass ein Signal ausreichend sicher nachgewiesen wird, d.h. Fehlsignale ausreichend sicher vermieden werden, wenn das Signal bei der 9-fachen Standardabweichung bezüglich des Rauschens liegt, und wonach der Nachweis von Rauschen ausreichend sicher vermieden wird, wenn die HW-Schwelle das 4,5-fache der Standardabweichung bezüglich des Rauschens beträgt.

Bei einer geforderten Empfindlichkeitssteigerung gegenüber der Event-Messung von z.B. $E = 8$ ergibt sich mit einer Mittelungstiefe von $m = E^2 = 64$ ein Wert für die SW-Schwelle von etwa 35 und liegt in der SW-Amplitude der mittlere Wert der Verteilung des Rauschens bei etwa 18 mit einer Standardabweichung von etwa $\sigma = 3,62$ ($18 + 4,5 \cdot 3,62 \approx 35$). Dabei ist der Werte- oder Ergebnisbereich der SW-Schwelle durch die möglichen Ergebnisse der 64 Einzelmessungen von 0 bis 64 vorgegeben, wobei noch keine Normierung des Ergebnisbereiches vorgenommen wurde.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass es unabhängig von der Form der nachzuweisenden Signale ist. Nicht nur im Vergleich zur Messzeit kurze Signale, sondern auch breite Signale mit über ihre Dauer beliebig geformter Amplitude können

durch das erfindungsgemäße Verfahren nachgewiesen werden. Ein derartiges breites Signal hebt das Rauschen in dem betreffenden zeitlichen Bereich entsprechend seiner Amplitude insgesamt an, so dass für jedes Zeitfenster gegenüber einer reinen Rauschmessung die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Events erhöht ist. Die SW-Amplitude ist dann in diesem zeitlichen Bereich eine in Abhängigkeit von der Mittelungstiefe mehr oder weniger glatte Funktion, die gegenüber der Lage einer reinen Rauschen repräsentierenden SW-Amplitude um ein der Amplitude des breiten Signals entsprechendes Maß nach oben verschoben ist.

10

Ferner ist erfindungsgemäß von Vorteil, dass eine beliebige Anzahl von während der Messzeit nacheinander auftretenden Signalen nachgewiesen werden kann. Jede durch ein Signal hervorgerufene Veränderung des Rauschens führt in der SW-Amplitude 29 zu einem mittels der SW-Schwelle 31 nachweisbaren Signal 15, wie aus Fig. 5 unmittelbar ersichtlich ist. Das erfindungsgemäße Verfahren ist daher automatisch mehr-

15

Wie im Einleitungsteil bereits erwähnt, kann die Bandbreite der Amplitudenfunktion 29 herabgesetzt werden, indem eine Glättung durch horizontale Mittelung durchgeführt wird, z.B. indem in der Amplitudenfunktion 29 jeweils über eine vorgegebene Anzahl aufeinander folgender Zeitfenster gemittelt wird. Bei den in Fig. 5c-5f dargestellten Amplitudenfunktionen 29 ist eine solche Glättung jeweils noch nicht vorgenommen worden.

Durch die Glättung kann das nach der Mittelung noch verbliebene SW-Rauschen gegenüber dem Signal 15 noch weiter herabgesetzt werden. Hierdurch kann eine weitere Steigerung der Empfindlichkeit erzielt werden, da lediglich das Rauschen geglättet wird, das Signal dagegen – sofern

25

es breiter als die Glättungszeit ist – hinsichtlich der Höhe unverändert bleibt.

Wie vorstehend bereits erwähnt, kann ferner ausgehend von der Amplitudenfunktion 29 durch eine als Rauschkompensation bezeichnete weitere softwaremäßig durchführbare Maßnahme die Genauigkeit der Entfernungsmessung verbessert werden, indem als Basis für die den Signalpuls 15 betreffende Laufzeitmessung nicht der SW-Event 65, also nicht der Schnittpunkt der vorderen oder aufsteigenden Flanke des Signalpulses 15 mit der SW-Schwelle 31 (Fig. 5f) verwendet wird. Vielmehr wird bei der Rauschkompensation im Bereich des SW-Events 65 eine Extrapolation des Rauschens durchgeführt, wodurch eine Rauschfunktion erhalten wird, die anschließend von der Amplitudenfunktion 29 lokal im Bereich der vorderen Flanke abgezogen wird. In der auf diese Weise im Bereich des Signalpulses 15 vom Rauschen bereinigten Amplitudenfunktion 29 kann nunmehr durch Extrapolieren der vorderen oder aufsteigenden Flanke des Signalpulses 15 deren Schnittpunkt mit der Nulllinie, also mit dem mittleren Wert des Rauschens, bestimmt werden. Dieser Schnittpunkt dient dann als derjenige signifikante Fußpunkt, auf dessen Basis die Objektentfernung berechnet wird. Diese Rauschkompensation kann auch an der hinteren oder abfallenden Flanke des Signalpulses 15 durchgeführt werden.

Die Entfernungsberechnung erfolgt dadurch, dass diejenige Zeitspanne gemessen wird, die von der Aussendung des betreffenden Strahlungspulses 13 (Fig. 1), insbesondere von dessen vorderer Flanke, bis zu dem vorstehend erwähnten signifikanten Fußpunkt verstreicht, wobei hierzu mit einem Zähler die Anzahl der von der zentralen Mess-Clock 43 (Fig. 1) ab-

gegebenen Clock- oder Taktpulse gezählt wird. Aus der bekannten Breite und Frequenz dieser Taktpulse kann dann die verstrichene Zeitspanne zwischen ausgesandtem Strahlungspuls 13 und empfangenem Signalpuls 15 ermittelt und unter Ausnutzung der Lichtgeschwindigkeit die entsprechende Objektentfernung berechnet werden.

In einer an dieser Stelle lediglich als Beispiel genannten möglichen Konfiguration eines erfindungsgemäßen Sensors, mit dem das erfindungsgemäße Messverfahren durchgeführt werden kann, ist folgendes vorgesehen:

10

Der erfindungsgemäße Sensor besitzt einen Empfangskanal. Als Sender der elektromagnetischen Strahlung wird eine Pulsaserdiode mit einer Wellenlänge des emittierten Lichtes von 905 nm verwendet. Die Pulsbreite der ausgesandten Strahlungspulse beträgt ca. 5 ns. Die Leistung beträgt 15 40 W. Als Empfangsdiode wird eine APD mit dem Faktor 80 verwendet. Als Verstärker kommt ein Breitbandverstärker mit kapazitiver Kopplung zum Einsatz.

Die Puls-Wiederholrate ist 10 kHz, so dass die Zeit zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden ausgesandten Strahlungspulsen 0,1 ms beträgt.

Als Reichweite bei der eingangs erläuterten Event-Messung ergäbe sich mit der obigen Konfiguration und mit einem Durchmesser der sammelnden Optik von 50 mm sowie einer Reflektivität des Zielobjektes, dessen Entfernung gemessen werden soll, von ca. 5% unter Berücksichtigung von typischem Sonnenlicht und typischer atmosphärischer Dämpfung ca. 25 82 m.

Soll die Empfindlichkeit z.B. um den Wert 8 gesteigert werden, so müssen 64 Einzelmessungen zu einer Messung gemittelt werden. Als Minimum-Signal für einen sicheren Nachweis wird ein Signal von 9 NEP angenommen. Die zugehörige HW-Schwelle müsste von 4,5 NEP auf etwa 0,56 NEP herabgesetzt werden, um das 8-fach kleinere Signal nach der Mittelung sicher detektieren zu können. Bei 0,56 NEP ist die Wahrscheinlichkeit, einen Rauschpuls zu detektieren, ca. 0,287 gegenüber von 0,5 bei 0 NEP. Geht man mit diesen Werten in die entsprechenden Binominalverteilungen, so ergibt sich für die SW-Amplitude $\sigma = 3,62$. Dabei ist der Wertebereich für die SW-Amplitude 0 bis 64, und zwar entsprechend der möglichen Ergebnisse bei 64 Ereignissen. Der Mittelwert liegt bei 18,37. Um nun eine sichere Messung im Softwarebereich, d.h. in der SW-Amplitude, zu erreichen, muss die SW-Schwelle auf 35 eingestellt werden, wie vorstehend bereits dargelegt wurde.

Mit dieser Auslegung eines Sensors würde man eine Reichweite von ca. 220 m erreichen, da eine Empfindlichkeitssteigerung um den Faktor E lediglich mit dem Faktor \sqrt{E} in die Erhöhung der Reichweite eingeht und Abschlüsse aufgrund anderer in der Praxis auftretender Effekte, z.B. atmosphärischer Dämpfung, berücksichtigt wurden.

Auf dieser Strecke von 220 m würden im Mittel ca. 100 Rauschpulse mit einer mittleren Breite von ca. 6 ns detektiert werden, wenn der Empfänger eine Bandbreite von ca. 200 MHz und einen Tiefpass 3. Ordnung aufweist.

Jede Einzelmessung würde also aus ca. 100 up-Events und 100 down-Events bestehen, die als Eventliste im IC-Speicher gespeichert werden. Als

Speichergröße würden 200 mal 2 Byte ausreichen, weil die größte zu speichernde Zahl in 2 Byte passen würde. Im IC-Baustein würde also ein Speicher der Größe 400 Byte ausreichen.

- 5 Die SW-Amplitude entsteht durch Integration der gemittelten Einzelmessung, die insgesamt aus ca. 12.800 Events besteht. Verwendet man einen Zähler mit einer Zählfrequenz von 1,5 GHz, so repräsentiert ein Zeitfenster im Zeitraster eine Entfernungsdifferenz von 0,1 m. Für 220 m Entfernung wären 2.200 Zeitrasterplätze, also Speicherzellen im Zeitrasterspeicher, erforderlich, so dass jeder Zeitrasterplatz im Mittel mit ca. 2,9 mal "+1" und 2,9 mal "-1" gefüllt wäre. Die statistische Fluktuation dieser Füllung ergibt die tatsächliche Füllzahl. Die erforderliche Speichergröße beträgt 2.200 Byte.
- 10
- 15 Als Messzeit ergibt sich $64 * 0,1 \text{ ms} = 6,4 \text{ ms}$, womit eine Messrate von 156 Hz dargestellt werden kann.

Der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitende erfindungsgemäße Sensor bewältigt die Messung dieser Pulsmenge bestehend aus ca. 100 Rausch- und Signalpulsen und verarbeitet die Ergebnisse zu Entfernungen, wobei eine Empfindlichkeitssteigerung von 8 und eine Reichweitensteigerung von etwa $\sqrt{8} \approx 2,8$ gegenüber der Event-Messung erzielt werden.

20

Vor allem die drastische Empfindlichkeitssteigerung, aber auch die praktisch unbegrenzte Mehrecho-Fähigkeit sowie die Möglichkeit der Pulsformanalyse von in Abhängigkeit von der Konfiguration des Zielobjektes deformierten Pulsen, die durch die Erfindung bereitgestellt werden, eröffnen eine Fülle von neuen Anwendungsmöglichkeiten, die bislang nicht reali-

25

sierbar waren.

So kann z.B. aufgrund der höheren Empfindlichkeit senderseitig ohne Empfindlichkeitseinbußen die optische Leistung reduziert werden, indem
5 anstelle einer Laserdiode eine LED als Sendeelement verwendet wird. Alternativ kann als Sendeelement eine CW-Laserdiode im Pulsbetrieb eingesetzt werden, die zur Aussendung von im für das menschliche Auge sichtbaren Bereich liegender elektromagnetischer Strahlung ausgelegt sein kann. Diese Maßnahmen können zu einer erheblichen Kostenreduzierung
10 bei der Herstellung des Sensors führen.

Eine alternativ oder zusätzlich mögliche Maßnahme, mit der ebenfalls die Herstellungskosten reduziert werden können, besteht empfangsseitig in der Verwendung von PIN-Dioden als Empfangselemente, die anstelle von
15 Dioden vom APD-Typ eingesetzt werden können.

Des Weiteren können Sensoren mit einer reduzierten Leistungsaufnahme realisiert werden. Die Erfindung ermöglicht insbesondere die Herstellung von Sensoren, die mit einer vergleichsweise geringen Betriebsspannung
20 von z.B. 5 V auskommen.

Eine weitere Möglichkeit, die mit der Erfindung erzielbare Empfindlichkeitssteigerung in vorteilhafter Weise zu nutzen, besteht darin, die optischen Einrichtungen des Sensors zu verkleinern, indem z.B. die empfan-
25 gerseitigen optischen Flächen reduziert werden. Auf diese Weise wird die durch die Erfindung gewonnene Empfindlichkeitssteigerung zur Verkleinerung des Sensors genutzt, wobei die ursprüngliche, auf optischen Einrichtungen in Normalgröße basierende Leistungsfähigkeit des Sensors er-

halten bleibt.

Während derartige Maßnahmen - sofern überhaupt realisierbar - bei herkömmlichen Sensoren wenigstens eine dramatische Reduzierung der Reichweite zur Folge hätten, wird die Reichweite nicht beeinträchtigt, wenn diese Maßnahmen in Verbindung mit der Erfindung erfolgen, da die aus diesen Maßnahmen resultierenden Verluste in der Reichweite durch die erfindungsgemäß erzielbare Empfindlichkeitssteigerung zumindest kompensiert werden können.

10

Des Weiteren sind durch die Erfindung bestimmte Anwendungen einer Entfernungsmessung überhaupt erst möglich oder zumindest wesentlich besser durchführbar.

15

Zu erwähnen sind hier beispielsweise Entfernungsmessungen bei belasteter Atmosphäre oder bei verschmutzten optischen Flächen des Sensors. Eine Belastung der Atmosphäre kann z.B. durch Nebel erfolgen. Ein erfindungsgemäßer Sensor kann als Nebeldetektor dienen, da nicht nur aufgrund der hohen Empfindlichkeit und der unbegrenzten Mehrecho-Fähigkeit sowie der Möglichkeit zur Pulsformanalyse Nebel überhaupt detektierbar ist, sondern durch die erfindungsgemäße Möglichkeit zur Auswertung der Form der empfangenen Signalpulse außerdem solche Pulsformen erkannt werden können, die für Nebel charakteristisch sind.

20

25

Des Weiteren kann die Erfindung grundsätzlich auch in Verbindung mit Scannern eingesetzt werden, d.h. an Sensoren, mit denen in einer oder mehreren Abtastebenen jeweils Strahlungspulse nacheinander in unterschiedliche Winkelrichtungen ausgesandt und für jeden ausgesandten

Strahlungspuls die reflektierten Signalepulse hinsichtlich ihrer Laufzeit und ihrer Winkelrichtung ausgewertet werden. Je geringer die Scanfrequenz ist, d.h. je langsamer sich die jeweiligen Komponenten eines von der Erfindung Gebrauch machenden Scanners drehen, desto größer kann die
5 Mittelungstiefe gewählt werden, da dann der Scanner umso länger zumindest näherungsweise in die gleiche Richtung "blickt" und damit das gleiche Objekt "anvisieren" kann.

Bezugszeichenliste

	11	Sender
5	13	ausgesandte Strahlung
	15	Signalpuls
	17	Empfänger
	19	Objekt
	21	Schwelle des Empfängers, HW-Schwelle
10	23	logischer Puls der logischen Messung
	25	Speicher
	27	Speichersystem, Zeitrasterspeicher
	29	Amplitudenfunktion, SW-Amplitude
	31	Nachweisschwelle, SW-Schwelle
15	33	Zeitpunkt einer Einzelmessung, Event
	35	Verstärker
	37	analoges Empfangssignal, analoge Messung
	39	Einrichtung mit Schwelle, Komparator
	41	Steuer- und Auswerteeinrichtung
20	43	Taktgeber, Mess-Clock
	45	IC-Baustein
	47	Mikroprozessor
	49	Schnittstelle
	51	Abdeckung
25	53	Sendeoptik
	55	Empfangsoptik
	57	Shiftregister-Multiplexer
	59	Schnittstelle
	61	Empfangsdiode

- 63 Prozessorsystem
- 65 SW-Event
- 67 Zähler

Ansprüche

1. Verfahren zur Entfernungsmessung, bei dem mit wenigstens einem
5 Sender (11) gepulste elektromagnetische Strahlung (13) ausgesandt
wird und reflektierte Signalepulse (15) mit wenigstens einem Empfänger (17) nachgewiesen werden, wobei die Entfernungen von Objekten (19), an denen die ausgesandten Strahlungspulse (13) reflektiert werden, durch Bestimmen der Pulslaufzeit gemessen werden,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass mit dem Empfänger (17) das Rauschen gemessen wird, wobei
Zeitpunkte (33) bestimmt werden, an denen wenigstens eine im
Rauschen liegende Schwelle (21) des Empfängers (17) durchbrochen
wird, und wobei durch Mittelung einer Mehrzahl von jeweils die be-
15 stimmten Zeitpunkte (33) umfassenden Einzelmessungen von den
Signalepulsen (15) hervorgerufene Veränderungen des Rauschens
nachgewiesen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass für jeden ausgesandten Strahlungspuls (13) eine Einzelmessung erzeugt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Erzeugung und die Mittelung der Einzelmessungen sowie
der Nachweis der Veränderungen des Rauschens mittels eines softwaregestützten Auswerteverfahrens erfolgen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass mittels der im Rauschen liegenden Schwelle (21) des Empfän-
gers (17) aus dem analogen Empfangssignal (37), das Rauschpulse
und/oder durch die Signalepulse (15) veränderte Rauschpulse ent-
hält, eine Folge von logischen Pulsen (23) erzeugt wird, aus der die
Einzelmessung abgeleitet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Flanken der logischen Pulse (23) als Zeitpunkte (33) der
Einzelmessung verwendet werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zeitpunkte (33) der Einzelmessung in wenigstens einen
Speicher (25, 27) eingebracht werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zeitpunkte (33) der Einzelmessung zunächst in einem Spei-
cher (25), insbesondere einem Speicher eines IC-Bausteins (45), zwi-
schengespeichert und anschließend in einen weiteren Speicher (27),
insbesondere einen Zeitrasterspeicher, übertragen werden, wobei in
dem weiteren Speicher (27) die Zeitpunkte (33) in einer ihre jeweilige
Zeitinformation berücksichtigenden Anordnung abgelegt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mittelung der Einzelmessungen in wenigstens einem Zeit-
rasterspeicher (27) durchgeführt wird, wobei bevorzugt für alle zu
5 mittelnden Einzelmessungen der gleiche Zeitrasterspeicher (27) ver-
wendet wird, und wobei die entsprechende Speicherzelle des Zeitras-
terspeichers (27) im Fall einer aufsteigenden Pulsflanke um einen
Wert n erhöht und im Fall einer abfallenden Flanke um den Wert n
10 vermindert wird, oder umgekehrt, wobei bevorzugt für n der Wert 1
verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass bei der Mittelung der Einzelmessungen ein Zeitraster verwen-
det wird, in dem die Messzeit in eine Vielzahl von aufeinander fol-
genden Zeitfenstern unterteilt ist, wobei bevorzugt jedem Zeitfenster
eine Speicherzelle zumindest eines Zeitrasterspeichers (25, 27) zu-
geordnet ist.
- 20
10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Mittelung für jedes Zeitfenster die Anzahl von Durch-
brechungen der Schwelle (21) des Empfängers (17) insbesondere
25 vorzeichenrichtig gezählt oder gemittelt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Mittelung zwischen Zeitpunkten (33), an denen die
Schwelle (21) des Empfängers (17) überschritten wird, und Zeit-
punkten (33), an denen die Schwelle (21) des Empfängers (17) un-
terschritten wird, unterschieden wird, wobei vorzugsweise ein Zeit-
punkt (33) einer Überschreitung positiv und ein Zeitpunkt (33) einer
Unterschreitung negativ gewertet wird, oder umgekehrt.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Anschluss an die Mittelung der Einzelmessungen der Mit-
telwert zu einer Amplitudenfunktion (29) integriert wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bandbreite der Amplitudenfunktion (29) herabgesetzt wird,
indem vorzugsweise in der Amplitudenfunktion (29) jeweils über ei-
ne vorgegebene Anzahl aufeinander folgender Zeitfenster gemittelt
wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass zum Nachweis der von den Signalpulsen (15) hervorgerufenen
Veränderungen des Rauschens auf die Amplitudenfunktion (29) eine
Nachweisschwelle (31) angewendet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass in der Amplitudenfunktion (29) für die Signalpulse (15) jeweils
die zugehörige Objektentfernung auf der Basis wenigstens eines
5 Zeitpunktes (65) bestimmt wird, an dem die Nachweisschwelle (31)
durchbrochen wird.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet,
10 dass die Nachweisschwelle (31) in Abhängigkeit von einem Faktor
eingestellt wird, um den die Schwelle (21) des Empfängers (17) ge-
genüber einem Wert von 4,5 NEP reduziert wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die Nachweisschwelle (31) aus einer den Faktor enthaltenden
Rechenvorschrift berechnet wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass in der Amplitudenfunktion (29) zur Bestimmung von Fußpunk-
ten der Signalpulse (15) jeweils im Bereich der aufsteigenden
und /oder abfallenden Flanke des Signalpulses (15) eine Extrapolati-
on des Rauschens durchgeführt, eine hierbei erhaltene Rauschfunk-
25 tion von der Amplitudenfunktion (29) abgezogen und als Fußpunkt
der Schnittpunkt der interpolierten Pulsflanke mit dem mittleren
Wert des Rauschens bestimmt wird, wobei die Objektentfernungen
auf der Basis der Fußpunkte bestimmt werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
dass in der Amplitudenfunktion (29) die Form der Signalpulse (15)
5 ausgewertet wird.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mittelung der Einzelmessungen päckchenweise erfolgt,
10 indem zur Bildung von Päckchenmittelwerten nacheinander jeweils
über eine Anzahl von Einzelmessungen summiert und durch die Anzahl von Einzelmessungen dividiert wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die Objektentfernungen aus einem einzigen Päckchenmittelwert bestimmt werden.
22. Verfahren nach Anspruch 20,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass über eine Mehrzahl von Päckchen gemittelt wird und die Objektentfernungen aus dem hierdurch gebildeten Mittelwert bestimmt werden.
- 25 23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Vorrichtung gemäß einem der nachstehenden Ansprüche verwendet wird.

24. Vorrichtung zur Entfernungsmessung durch Bestimmen der Puls-
laufzeit, mit wenigstens einem Sender (11) zur Aussendung gepuls-
ter elektromagnetischer Strahlung (13) und mit wenigstens einem
5 Empfänger (17) zum Nachweis von reflektierten Signalpulsen (15),
dadurch gekennzeichnet,
dass der Empfänger (17) einen Verstärker (35) zur Erzeugung eines
analogen Empfangssignals (37) und eine Einrichtung (39) mit we-
nigstens einer im Rauschen liegenden Schwelle (21) umfasst, mit
10 der aus dem analogen Empfangssignal (37) eine Folge von logischen
Pulsen (23) erzeugbar ist, und
dass dem Empfänger (17) eine Auswerteeinrichtung (41) zugeordnet
ist, mit der für eine Mehrzahl von ausgesandten Strahlungspulsen
(13) aus Zeitpunkten (33), die den Flanken der logischen Pulse (23)
15 entsprechen, jeweils eine Einzelmessung erzeugbar und zum Nach-
weis von Veränderungen des Rauschens, die von den Signalpulsen
(15) hervorgerufen werden, eine Mittelung der jeweils die bestimm-
ten Zeitpunkte (33) umfassenden Einzelmessungen durchführbar
ist.

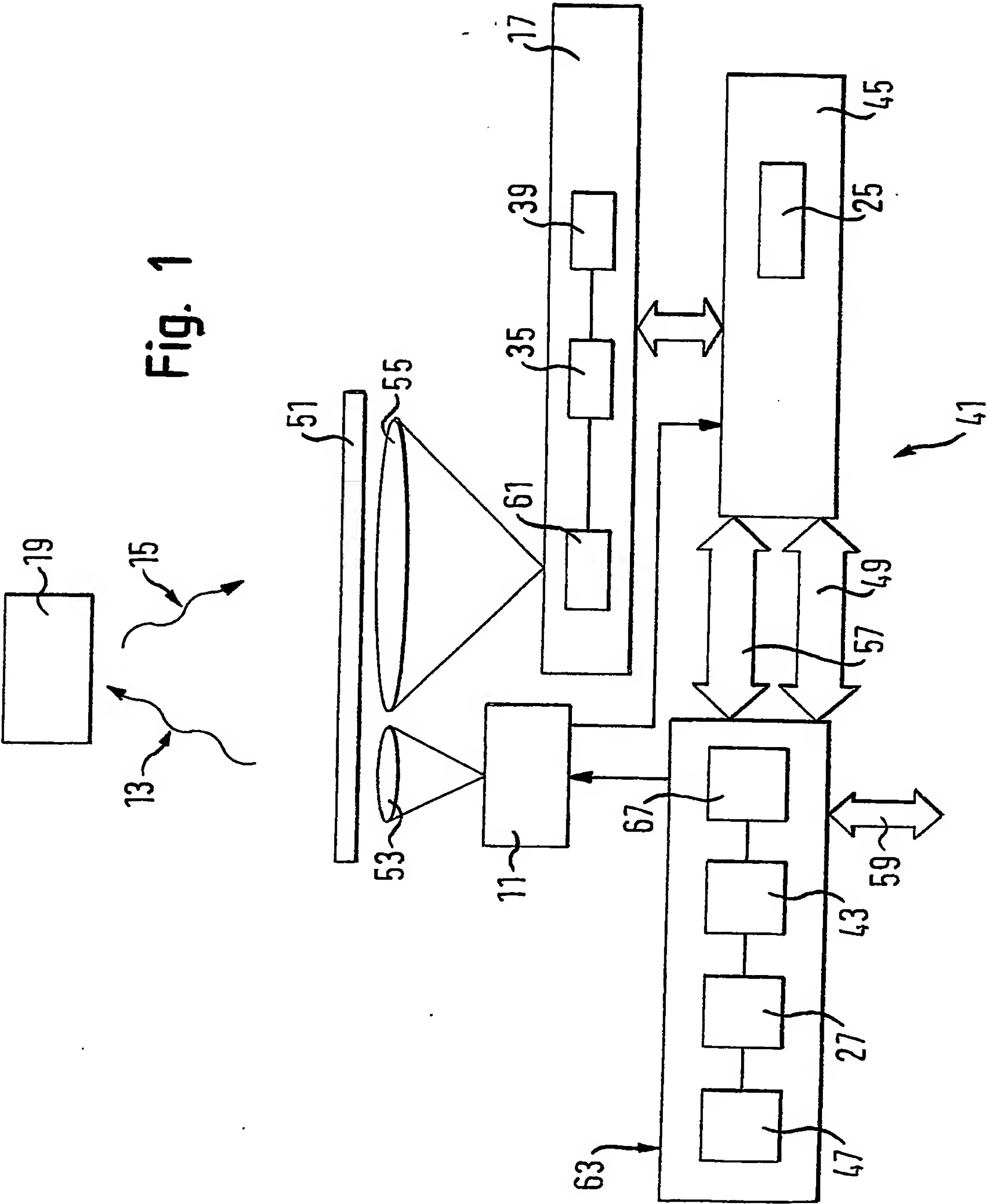
20
25. Vorrichtung nach Anspruch 24,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einrichtung mit der im Rauschen liegenden Schwelle (21)
wenigstens einen Komparator (39) oder wenigstens einen Begren-
25 zungsverstärker (limiting amplifier) umfasst.

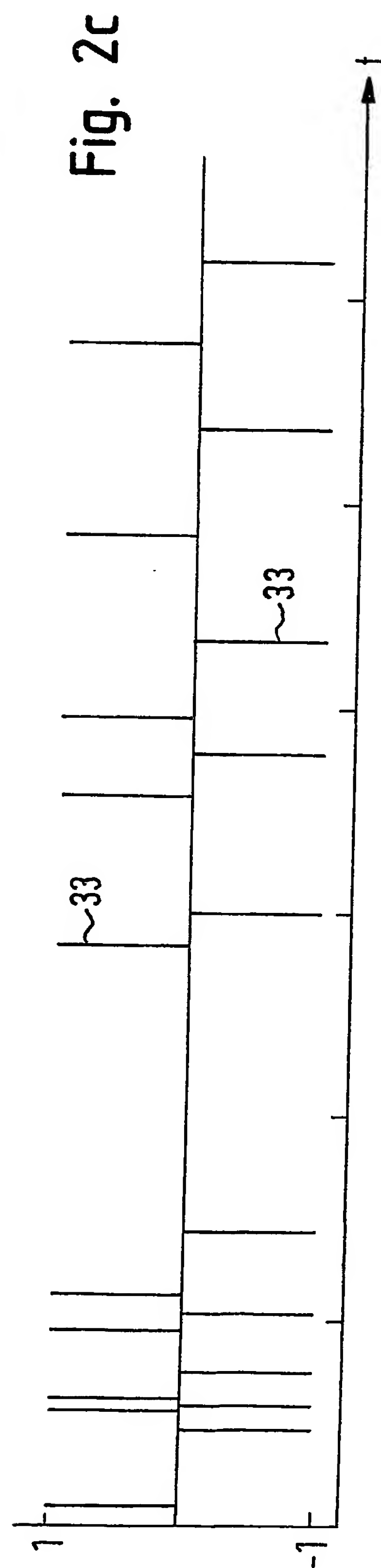
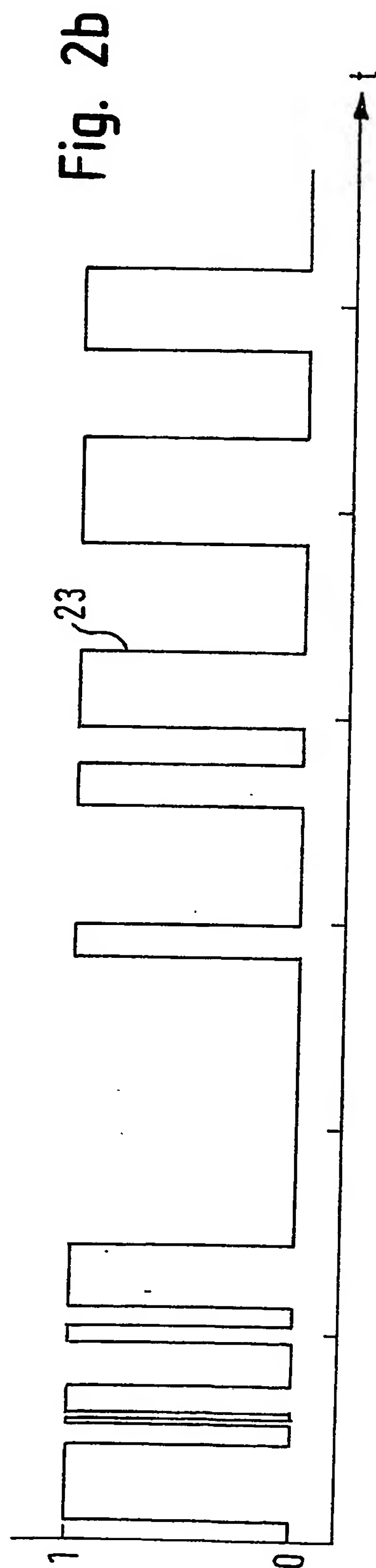
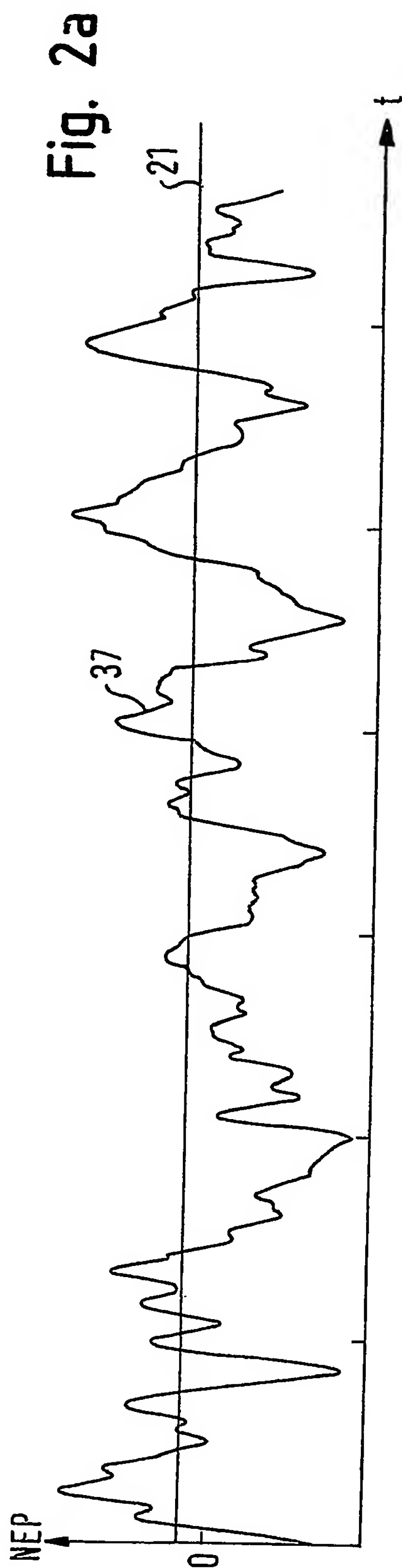
26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Bestimmung von Zeitspannen, die jeweils von der Aussendung eines Strahlungspulses (13) bis zu einem einer Flanke eines
logischen Pulses (23) entsprechenden Zeitpunkt (33) verstreichen,
ein Taktgeber (43) zur Abgabe von Taktpulsen bekannter Breite mit
bekannter Frequenz sowie ein Zähler vorgesehen sind, mit dem die
während der Zeitspanne abgegebenen Taktpulse zählbar sind.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messzeit in eine Vielzahl von aufeinander folgenden Zeitfenstern unterteilt ist und die Auswerteeinrichtung (41) wenigstens
einen Zeitrasterspeicher (27) umfasst, dessen Speicherzellen jeweils
einem Zeitfenster zugeordnet sind.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Wert jeder Speicherzelle durch eine in das entsprechende
Zeitfenster fallende Pulsflanke veränderbar ist, wobei vorzugsweise
jede Speicherzelle durch eine aufsteigende Pulsflanke um einen Wert
n erhöhbar und im Fall einer abfallenden Flanke um den Wert n
verminderbar ist, oder umgekehrt, wobei bevorzugt für n der Wert 1
vorgesehen ist.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 28,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Erzeugung und die Mittelung der Einzelmessungen sowie
der Nachweis der Veränderungen des Rauschens mittels eines soft-
waregestützten Auswerteverfahrens durchführbar sind.
30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 29,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinrichtung (41) wenigstens einen IC-Baustein
(45) umfasst, in dem zumindest die Erzeugung der Einzelmessungen
durchführbar ist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinrichtung (41) wenigstens einen Mikroprozessor
(47) und zumindest eine Schnittstelle (49) zur Übertragung der er-
zeugten Einzelmessungen von dem IC-Baustein (45) in den Mikro-
prozessor (47) umfasst, wobei zumindest die Mittelung der Einzel-
messungen sowie der Nachweis der Veränderungen des Rauschens
mittels des Mikroprozessors (47) und wenigstens eines Speichers
(27) durchführbar sind.
32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 31,
dadurch gekennzeichnet,
dass sie nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 22
betreibbar ist.





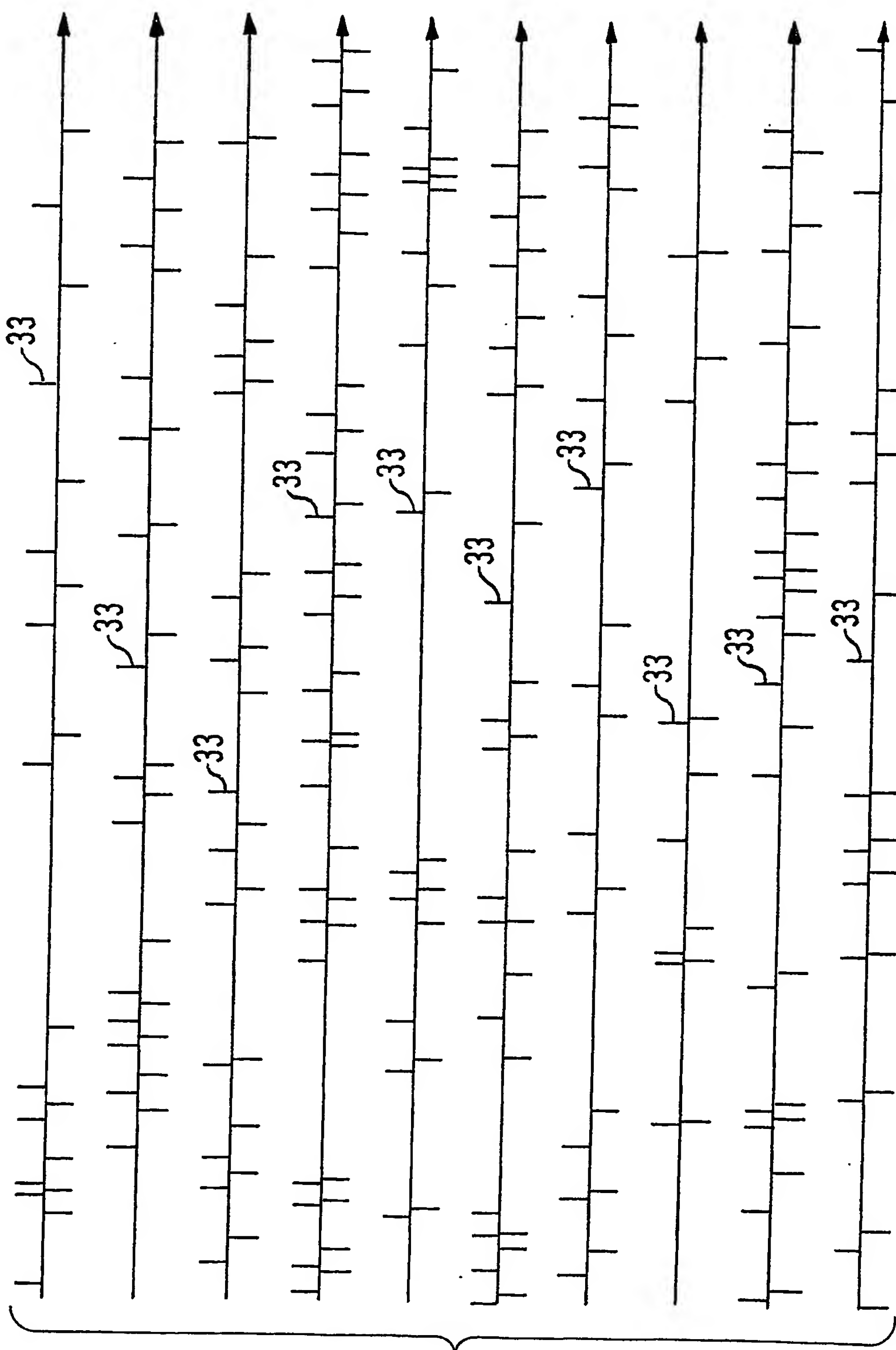


Fig. 3a

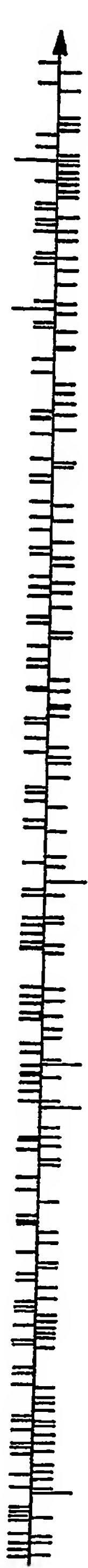


Fig. 3b

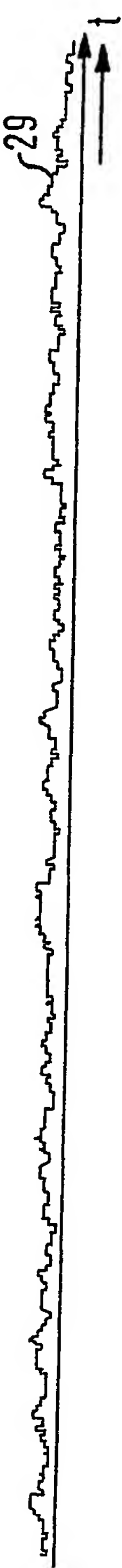
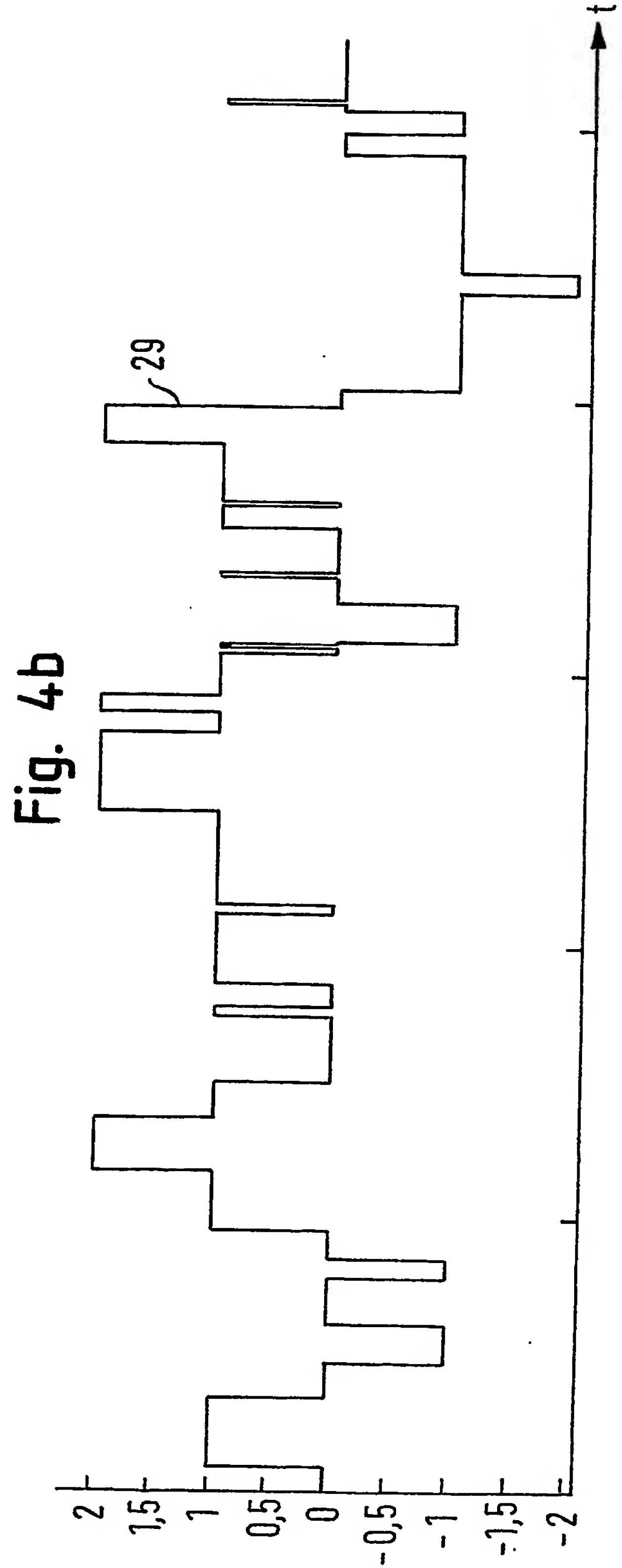
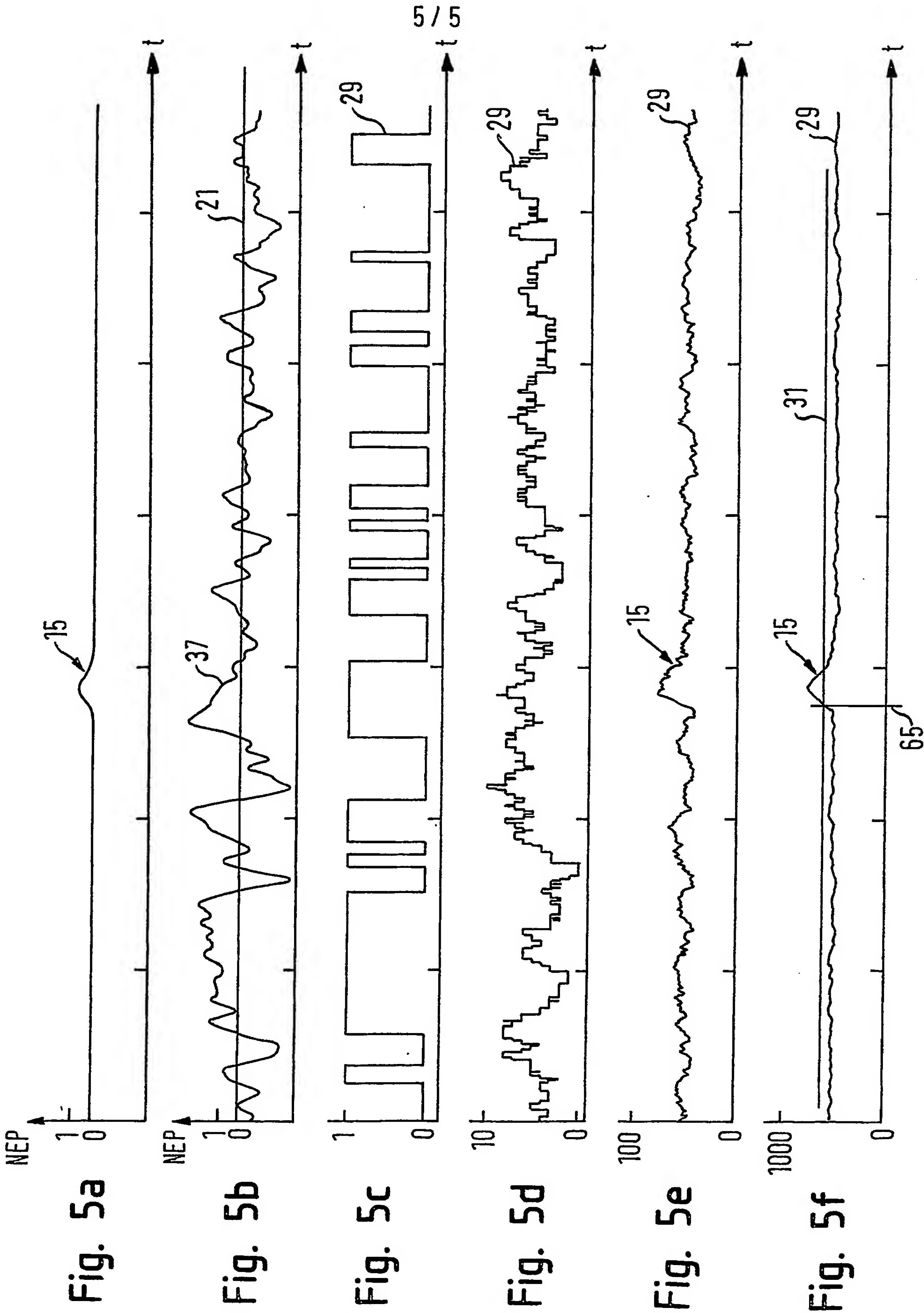


Fig. 3c





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/011111

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01S7/292		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	F.E. NATHANSON ET AL.: "Radar Design Principles" 1991, SCITECH PUBLISHING, INC., MENDHAM, NJ, USA, XP002272505 page 80 - page 83	1-32
A	DE 196 37 010 A (DAIMLER BENZ AEROSPACE AG) 7 May 1997 (1997-05-07) the whole document	1-32
A	US 4 586 043 A (WOLF MARY L) 29 April 1986 (1986-04-29) the whole document	1-32
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex. </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*&* document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search <div style="text-align: center; font-weight: bold;">14 December 2004</div>		Date of mailing of the international search report <div style="text-align: center; font-weight: bold;">11/01/2005</div>
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Dollinger, F</div>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP2004/011111

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19637010	A	07-05-1997	DE 19637010 A1	07-05-1997
US 4586043	A	29-04-1986	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/011111

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01S7/292

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	F.E. NATHANSON ET AL.: "Radar Design Principles" 1991, SCITECH PUBLISHING, INC., MENDHAM, NJ, USA, XP002272505 Seite 80 - Seite 83	1-32
A	DE 196 37 010 A (DAIMLER BENZ AEROSPACE AG) 7. Mai 1997 (1997-05-07) das ganze Dokument	1-32
A	US 4 586 043 A (WOLF MARY L) 29. April 1986 (1986-04-29) das ganze Dokument	1-32



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Dezember 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/01/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Dollinger, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011111

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19637010	A	07-05-1997	DE 19637010 A1	07-05-1997
US 4586043	A	29-04-1986	KEINE	